



**Structuration par le professeur des connaissances
construites par des élèves ayant travaillé en autonomie
lors d'une activité expérimentale de chimie.**

Rita Khanfour-Armalé

► **To cite this version:**

Rita Khanfour-Armalé. Structuration par le professeur des connaissances construites par des élèves ayant travaillé en autonomie lors d'une activité expérimentale de chimie.. Education. Université Lumière - Lyon II, 2008. Français. NNT : . tel-00408130

HAL Id: tel-00408130

<https://theses.hal.science/tel-00408130>

Submitted on 29 Jul 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Lumière Lyon 2
Université Libanaise

*Thèse pour obtenir le grade de Docteur en
Sciences de l'Éducation – Didactique de la Chimie*

présentée devant l'Université Lyon 2 par
Rita KHANFOUR-ARMALÉ

Le 04 décembre 2008

*Structuration par le professeur des connaissances
construites par des élèves ayant travaillé en autonomie
lors d'une activité expérimentale de chimie.*

Préparée sous la direction de Jean-François Le Maréchal
et Mohamad Chouman

*au sein de l'équipe ADIS-LST (groupe COAST)
UMR-5191 ICAR (Université Lyon 2, CNRS, ENS LSH, INRP)*

Jury

Robert BOUCHARD	Président
Alain DUMON	Rapporteur
Saouma BOUJAOUDE	Rapporteur
Mazen ELKHATIB	Membre
Jean-François LE MARECHAL	Directeur
Mohamad CHOUMAN	Directeur

*« Il est facile d'apprendre mille disciplines, mais il est
difficile d'en connaître une à fond. »
(Proverbe Chinois)*

Remerciements

Enfin, nous voilà! Quelle aventure ... Bientôt fini? Peut être, mais c'est pour annoncer un nouveau départ!

Une thèse, c'est un travail de longue haleine, un défi que l'on se donne à soi-même. Mais c'est surtout une formidable histoire de relations, de rencontres et d'amitiés. Les solutions rarement simples aux diverses questions que je me posais dans la pratique de la recherche scientifique sont le fruit non seulement des réflexions personnelles mais aussi des nombreuses discussions que j'ai eu l'occasion de partager avec bien de personnes passionnées dans leurs spécialités. Cette période de doctorat aura été probablement l'un des plus beaux chapitres de ma vie. J'aimerais remercier ceux et celles qui d'une manière ou d'une autre ont participé à son écriture ...

Je remercie chaleureusement mon directeur de thèse M. Jean François Le Maréchal pour son suivi, ses encouragements et son soutien tout au long de ces quatre années d'encadrements. Je voudrais lui exprimer ma plus sincère gratitude pour la confiance, la patience et la générosité dont il a fait preuve à mon égard. Je le remercie pour sa disponibilité et ses conseils, pleins de bon sens et d'encouragements. Il a permis la maturité des réflexions, l'approfondissement et la finalisation de ce travail dans les meilleurs délais.

A Jean François je dis : Merci, de m'avoir accompagné dans cette aventure, de m'avoir guidé et enseigné les réflexes du bon chercheur. Tu m'as appris à me poser les bonnes questions et à y répondre avec le maximum de rigueur. Ton écoute, ta patience, ton optimisme et ton extraordinaire force de travail font de toi un exemple ... dont j'espère encore pouvoir longtemps profiter!

Je tiens également à remercier M. Mohamad Chouman, qui a accepté de codiriger mon travail et qui sans lui cette thèse en cotutelle n'aurait pas été possible. Je le remercie profondément pour son accompagnement lors de mon CAPES, pour ses conseils et son soutien tout au long de ma thèse, ainsi que pour les échanges que nous avons eu et qui m'ont, sans nul doute, permis de consolider mon travail autant que ma volonté.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance envers Messieurs Alain Dumon, et Saouma Boujaoudé pour leurs conseils judicieux, pour la lecture de cette thèse et pour avoir bien voulu rapporter ce travail. Je remercie également Messieurs Mazen El khatib et Robert Bouchard pour avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse.

Je veux adresser toutes mes remerciements à tous les membres du groupe SESAMES Chimie qui étaient disponibles pour répondre à mes questions et d'enchaîner des discussions intéressantes et aboutissantes. Je remercie également les enseignants et élèves de Lycée qui m'ont accueillie dans leurs classes dans les meilleures conditions et qui m'ont permis d'achever les prises de données nécessaires pour mener à bien cette étude.

Je remercie Madame Lorenza Mondada, de m'avoir accueillie au sein du laboratoire ICAR. Je remercie également Madame Andrée Tiberghien et Monsieur Chrístian Buty pour m'avoir accueillie au sein de l'équipe COAST pour réaliser mon Master 2 et ma thèse dans une agréable ambiance.

J'adresse mes remerciements à l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) pour leurs programmes de coopération visant notamment à soutenir la recherche et l'enseignement en français. Ce travail n'aurait pas pu être envisagé ni poursuivi sans la bourse d'études qu'ils m'ont accordée. Je remercie vivement Mme Mirande Sfeir-khalaf, pour sa préoccupation, son soutien et son aide dans toutes les démarches administratives.

Mes remerciements vont aux professeurs de CAPES à l'université Libanaise – Faculté de pédagogie, avec qui j'ai commencé mes premiers pas dans la recherche en didactique.

Je remercie amicalement les doctorants et permanents du laboratoire ICAR, pour les services, petits ou grands, qu'ils ont pu me rendre.

Je tiens à adresser mes remerciements à tous les amis libanais et français pour leur générosité, leur aide, leur soutien durant la période de rédaction de thèse.

Je conclus en remerciant chaleureusement, mes parents, ma famille au Liban, et mon frère à Dubaï qui, ne liront peut être pas ce travail mais qui m'ont constamment soutenue et encouragé pour voyager et continuer mes études en France.

Antoun Armalé, mon mari, a été toujours là durant tout ce travail. Il m'a supporté, encouragé et apporté tout le confort dont j'avais besoin durant les moments les plus difficiles de mes recherches et ma rédaction. Les paroles ne suffisent pas pour décrire mes remerciements pour lui. Merci Mon Amour.

C'est grâce à vous tous que j'ai pu faire ce chemin aventureux, je vous remercie de tout mon cœur.

Sommaire

<u>RESUME</u>	13
<u>ABSTRACT</u>	14
<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	16
<u>CHAPITRE 1 PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE GENERALE DE LA THESE</u>	20
LA REFORME ET LES CONSEQUENCES	20
L'ENSEIGNEMENT DE LA CHIMIE AU LYCEE	21
L'ENSEIGNEMENT EXPERIMENTAL	22
LES ACTIVITES EXPERIMENTALES ET LEUR PLACE DANS LES NOUVEAUX PROGRAMMES	22
LES ACTIVITES EXPERIMENTALES DANS LES TRAVAUX DE RECHERCHE	23
LES DEUX TYPES DE SITUATION D'ENSEIGNEMENT	24
LE CONTEXTE DE LA RECHERCHE ET LA PROBLEMATIQUE	25
INTERET DE LA NOTION DE DEBRIEFING	28
POUR L'ELEVE	28
POUR LA COMPREHENSION D'UNE SEQUENCE D'ENSEIGNEMENT	29
POUR L'ACTIVITE DE L'ENSEIGNANT	29
L'ACTIVITE DE L'ENSEIGNANT ET DE L'ELEVE	30
LE CADRE THEORIQUE GENERAL: LA STRUCTURE LINGUISTIQUE ET COGNITIVE	32
LA STRUCTURE LINGUISTIQUE : L'ANALYSE CONVERSATIONNELLE	33
Les travaux de recherche sur l'analyse du discours	33
L'analyse du discours dans nos débriefings	35
LA STRUCTURE COGNITIVE : L'ANALYSE DIDACTIQUE	37
Les travaux de recherche sur les facettes de connaissances	37
Identification des connaissances par facettes dans nos débriefings	38
Concepts sensibles	39
Complexité d'une facette de connaissance	40
Utilité de l'outil méthodologique : les facettes	40
La continuité : Réutilisation d'une facette	41
La densité de la facette	41
LES FORMES D'ENSEIGNEMENT	41
ACTIVITE DE MODELISATION : CATEGORISATION ET ARTICULATION DES NIVEAUX DE CONNAISSANCES EN CHIMIE	42
Les travaux de recherche sur l'activité de modélisation	42
La modélisation dans nos séances	43
ARTICULATION DES DIFFERENTS CADRES THEORIQUES	45
QUESTION DE RECHERCHE GENERALE DE LA THESE	45
METHODOLOGIE	47
METHODOLOGIE DE PRISE DE DONNEES	47
Les données-enseignants	47
Les données-élèves	48
Discussions de groupe	49
METHODOLOGIE D'ANALYSE DES DONNEES	50
Transcription des productions verbales	50

Analyse du questionnaire	50
La structure linguistique : Analyse conversationnelle	50
La structure cognitive : Analyse didactique	50
Identification des facettes	50
La construction des facettes	51
Les relations entre les concepts	52
La complexité d'une facette de connaissance	52
PARTIE A LES SEQUENCES D'ENSEIGNEMENT	55
CHAPITRE 2 PRESENTATION DES SEQUENCES D'ENSEIGNEMENT	56
INTRODUCTION	56
LES DONNEES RELATIVES A L'ENREGISTREMENT	56
LES SEQUENCES D'ENSEIGNEMENT	59
CONCLUSION	66
CHAPITRE 3 L'ELEMENT CHIMIQUE	69
INTRODUCTION	69
DEFINITIONS DE L'ELEMENT CHIMIQUE	71
LES TRAVAUX SUR L'ELEMENT CHIMIQUE	73
ANALYSE DES SAVOIRS DE REFERENCE	75
NOTRE POINT DE VUE SUR LA CONSTRUCTION DE L'ELEMENT CHIMIQUE	76
SEQUENCE D'ENSEIGNEMENT	78
OBJECTIF DE LA SEQUENCE	78
INTERET DE LA SEQUENCE	79
ELABORATION ET OBSERVATION DE LA SEQUENCE	80
DESCRIPTION DE LA SEQUENCE	81
LES ENSEIGNANTS ET LA SEQUENCE INNOVANTE	91
REUTILISATION DE LA SITUATION EXPERIMENTALE ET DE L'ANALOGIE PAR L'ENSEIGNANT	92
INTRODUCTION DE LA NOTION D'ELEMENT CHIMIQUE	94
APRES L'INTRODUCTION DE LA NOTION D'ELEMENT CHIMIQUE	96
DISCUSSIONS ET IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT	97
LES CONCEPTIONS DES ELEVES SUR LA TRANSFORMATION CHIMIQUE	97
L'ELEMENT CHIMIQUE	98
Difficulté des enseignants	98
Le sens donné par les élèves aux observations et aux symboles	99
L'ELEMENT CHIMIQUE AVEC UNE APPROCHE EXPERIMENTALE	100
ANALOGIE ET CONSERVATION	100
Efficacité de l'analogie	100
L'activité de catégorisation dans l'enseignement	101
La polysémie	101
CONCLUSION	102
CHAPITRE 4 LA CLASSIFICATION PERIODIQUE	105
INTRODUCTION	105
LES TRAVAUX DE RECHERCHE SUR LA REACTION CHIMIQUE	105
LES CHAMPS CONCEPTUELS DE L'ELEMENT CHIMIQUE	106
HISTOIRE DE LA CLASSIFICATION PERIODIQUE ET APPRENTISSAGE	107

POINT DE VUE SUR L'APPRENTISSAGE	108
LA SEQUENCE D'ENSEIGNEMENT	108
OBJECTIF DE LA SEQUENCE	108
INTERET DE LA SEQUENCE	109
ELABORATION DE LA SEQUENCE	110
DESCRIPTION DE LA SEQUENCE	110
APPLICATION A L'ENSEIGNEMENT	116
LA CLASSIFICATION PERIODIQUE AVEC UNE APPROCHE EXPERIMENTALE	116
Aspect expérimental	116
Utilisation de schémas	116
Représenter la transformation avec une phrase	117
Erreurs non liées spécifiquement à l'élément chimique	117
L'élément chimique et sa position dans la classification périodique	118
CONCLUSION	119

PARTIE B : LES DEBRIEFINGS **121**

CHAPITRE 5 LE DEBRIEFING-CORRIGE DE L'ACTIVITE EXPERIMENTALE **123**

INTRODUCTION	123
CADRE THEORIQUE : ANALYSE CONVERSATIONNELLE ET DIDACTIQUE	123
QUESTIONS DE RECHERCHE	124
METHODE	125
METHODOLOGIE DE PRISE ET D'ANALYSE DES DONNEES	125
MISE EN PLACE D'ACTIVITES	126
RESULTATS ET DISCUSSIONS	126
DESCRIPTION DE LA STRUCTURE LINGUISTIQUE DU DEBRIEFING	127
Catégorisation des questions des échanges ternaires	127
Réponse des élèves	131
Catégorisation des évaluations de l'enseignant	136
La formulation de la réponse de l'élève	137
Le traitement de la connaissance dite par l'élève	139
La contextualisation et la généralisation	142
Synthèse des résultats de l'activité d'évaluation de la réponse de l'élève	143
APPARITION DES FACETTES	144
Cas de l'activité Élément chimique (<i>EC</i>)	144
Cas de l'activité Modèle de Lewis (<i>ML</i>)	145
Cas de l'activité Classification périodique (<i>CP</i>)	149
REMARQUES CONCLUANTES ET IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT	150
LA DEFINITION DU DEBRIEFING-CORRIGE	151
INCONVENIENT DE LA FORME CORRIGE D'UN DEBRIEFING	151
L'ENSEIGNANT ET LE MANUEL SCOLAIRE	152
L'ADAPTABILITE DES ENSEIGNANTS	153
AUTRES PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS DU DEBRIEFING-CORRIGE	153

CHAPITRE 6 LE DEBRIEFING IMPLIQUANT UNE FICHE DE SYNTHESE **156**

INTRODUCTION	156
LA DEFINITION DU DEBRIEFING FICHE DE SYNTHESE	156
CONTEXTE DE LA RECHERCHE	157
QUELQUES TRAVAUX DE RECHERCHE SUR LES REPRESENTATIONS SEMIOTIQUES	157
CONNAISSANCES ET REPRESENTATIONS	158

CADRE THEORIQUE	159
RELATIONS ENTRE SIGNES ET REPRESENTES	160
FONCTION DES REPRESENTATIONS	161
SYSTEMES SEMIOTIQUES	161
QUESTIONS DE RECHERCHE	162
METHODE	163
METHODOLOGIE DE PRISE ET D'ANALYSE DES DONNEES	163
LES SEQUENCES D'ENSEIGNEMENT	165
LE LIEN ENTRE LES DIFFERENTES PARTIES DE LA SEQUENCE	166
RESULTATS	167
ANALYSE COGNITIVE	168
Identification des facettes de connaissances dans la séquence TC	168
Identification des facettes de connaissances dans l'activité ML	170
ANALYSE SEMIOTIQUE	172
Relation entre représentation moléculaires et molécules	173
La relation de ressemblance	173
La relation de référence ou de désignation	174
La causalité	175
L'opposition	176
La relation à quelque chose d'autre, <i>aliud aliquid</i>	177
Facettes et représentations sémiotiques	178
LA CREATION DE LA FICHE DE SYNTHESE	182
Les facettes de connaissances	182
Les registres sémiotiques	184
ANALYSE CONVERSATIONNELLE	186
LIEN AVEC LE TP	187
REMARQUES CONCLUANTES ET IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT	189
IMPORTANCE ET AVANTAGES DE LA FICHE DE SYNTHESE	189
L'ENSEIGNANT ET LA FICHE DE SYNTHESE	191
L'ENSEIGNANT ET LES REGISTRES SEMIOTIQUES	191
Les référents multiples	192
Systèmes sémiotiques et représentations moléculaires	193
 CHAPITRE 7 DEBRIEFER EN FAISANT UN COURS STRUCTURE	 197
INTRODUCTION	197
LA DEFINITION DU DEBRIEFING COURS	197
CADRE THEORIQUE	197
LE COURS DANS LA LITTERATURE	197
LE DECOUPAGE THEMATIQUE	198
QUESTIONS DE RECHERCHE	198
METHODOLOGIE	199
METHODE DE PRISE DE DONNEES	199
METHODE D'ANALYSES DES DONNEES	200
RESULTATS	200
ANALYSE DIDACTIQUE	200
Identification des facettes de connaissances	200
Cas de l'activité TA	201
Cas de l'activité CP	203
La structuration des connaissances	205
Cas de la séquence TA	205
Cas de la séquence CP	207
L'ANALYSE CONVERSATIONNELLE	208
Catégorisation des questions	210

Les questions des élèves	211
Catégorisation des évaluations de l'enseignant	212
Les contres échanges	215
REMARQUES CONCLUANTES ET IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT	216

CHAPITRE 8 LA LIMITE DU DEBRIEFING **219**

INTRODUCTION	219
HISTOIRE DE LA TRANSFORMATION CHIMIQUE	219
REACTION CHIMIQUE ET AVANCEMENT	220
LE TRAVAIL DE L'ENSEIGNANT	221
LES CONDITIONS D'UN DEBRIEFING	223
QUESTIONS DE RECHERCHE	224
METHODOLOGIE	224
LA PRESENTATION DE LA TACHE	225
RESULTATS	226
IDENTIFICATION DES FACETTES DE CONNAISSANCES	226
L'INTRODUCTION DES CONCEPTS	229
REMARQUES CONCLUANTES ET IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT	231

CHAPITRE 9 LE QUESTIONNAIRE **234**

INTRODUCTION	234
CONTEXTE DU TRAVAIL	235
QUESTION DE RECHERCHE	235
PRESENTATION GENERALE DU QUESTIONNAIRE	236
METHODE	237
PROCEDURE DE PASSATION DU QUESTIONNAIRE	237
ELABORATION DU QUESTIONNAIRE	237
PROCEDURE D'ANALYSE	238
RESULTATS DE L'ANALYSE DES REponses AUX QUESTIONNAIRES	238
PRESENTATION DE LA POPULATION	238
DEROULEMENT DE LA CORRECTION DES EXERCICES EN CLASSE	238
LA DIFFERENCE ENTRE LA FRANCE ET LE LIBAN	239
LE LIEN AVEC NOS RESULTATS DU CORRIGE	240
La conservation d'une trace écrite	242
L'utilisation des connaissances mises en jeu lors du débriefing	243
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	244

CHAPITRE 10 CONCLUSION GENERALE **246**

CONCLUSIONS	246
LES DIFFERENTS TYPES DE DEBRIEFINGS	246
Le débriefing-Corrigé	247
Le débriefing impliquant une fiche de synthèse	248
Le débriefing-Cours	249
RETOUR SUR LA METHODOLOGIE	250
Analyse cognitive : Les facettes de connaissance	250
Analyse linguistique : Echanges ternaires	252
INTERET DE L'ACTIVITE EXPERIMENTALE	253
INTERET DE LA NOTION DE DEBRIEFING	254
PERSPECTIVES	255

<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	<u>258</u>
<u>INTRODUCTION</u>	<u>258</u>
<u>CHAPITRE 1</u>	<u>258</u>
<u>CHAPITRE 2</u>	<u>265</u>
<u>CHAPITRE 3</u>	<u>269</u>
<u>CHAPITRE 4</u>	<u>266</u>
<u>CHAPITRE 5</u>	<u>269</u>
<u>CHAPITRE 6</u>	<u>272</u>
<u>CHAPITRE 7</u>	<u>274</u>
<u>CHAPITRE 8</u>	<u>275</u>

Résumé

Nous nous sommes proposés de comprendre le moment particulier de l'enseignement pendant lequel le professeur structure les connaissances que les élèves ont élaborées lors d'une activité expérimentale de chimie. Nous appelons « débriefing » ce moment. L'approche théorique utilisée articule l'analyse conversationnelle, et l'analyse du savoir dans les interactions aux moyens de la méthode des facettes de connaissances.

Trois types de débriefing ont été observés. Celui qui se déroule comme un corrigé de l'activité, pendant lequel l'enseignant dialogue avec la classe et dont l'analyse montre qu'il s'agit d'une conversation basée essentiellement sur des échanges ternaires. L'enseignant pose des questions qui sont le plus souvent basées sur le texte de l'activité ou sur le contexte des observations réalisées par les élèves. Les réponses des élèves sont souvent peu informatives, en termes de connaissances, et l'évaluation de l'enseignant apparaît comme le moment où les connaissances sont introduites, et organisées. Lors du deuxième type de débriefing, l'enseignant s'appuie sur un document de synthèse. C'est une pratique plus rarement observée. La nature de l'interaction est toujours de type échange ternaire. Un plus grand nombre de nouvelles connaissances que dans le débriefing corrigé sont introduites et celles-ci sont supportées par une trace écrite. La synthèse effectuée peut permettre d'articuler plusieurs activités, ou une activité avec d'autres phases de l'enseignement. Enfin, le troisième type de débriefing est celui qui se structure comme un cours. Il est encore plus rarement observé. Le modèle de l'échange ternaire s'applique moins bien pour un tel type d'interaction de classe. Sur le plan des connaissances, la structure du cours peut être celle de l'activité, ou pas. Quand elle ne l'est pas, la relation avec l'activité passe alors au travers des exemples du cours qui sont puisés dans l'activité. Nous avons pu également observer une situation pendant laquelle l'enseignant était supposé faire un débriefing, mais l'analyse de son discours a montré que les relations avec l'activité étaient absentes. Plusieurs concepts sensibles mis en jeu pendant le débriefing n'avaient pas le même sens que pendant l'activité. De plus, le contexte de leur utilisation lors du débriefing différait de celui de l'activité.

MOTS CLES : didactique de la chimie, TP, débriefing, séquences d'enseignement, activité de l'enseignant, structuration des connaissances, interaction professeurs-élèves, enseignement, formation des enseignants.

Abstract

We focussed on understanding the moment in teaching sequences when teachers structure the knowledge developed during laboratory work. We named these moments «*debriefing* ». To study debriefing, our theoretical framework brought into plays altogether conversational analysis and knowledge analysis. Knowledge was revealed during class interactions and its analysis involved facets of knowledge.

Three types of debriefing were observed. The first type took place as if the teacher would review all questions of the laboratory work and provide their answers during a class discussion. The class discussion could be viewed as a conversation based on ternary exchanges (question, answer, evaluation). Most of the teacher's questions were based on the assignments for the laboratory work or on the context of the students' observations. The teacher's evaluations appeared to be the interventions that introduced and structured knowledge. The second kind of debriefing involved a document provided by the teacher. This document summarised knowledge, either linking several units of laboratory work or one unit with other phases of teaching. During such a debriefing, the class discussion was still based on a ternary exchange. More knowledge was developed than during the first kind of debriefing. Last, the third kind of debriefing was based on a lecture that cannot be modelled as a ternary exchange. The structure of such a lecture could either follow the organisation of the laboratory work or not. When it did not, the link with the laboratory work was limited to few experimental works that had been given as examples during the lecture. We also observed a teacher who failed in debriefing a laboratory work. In such a situation, many connections between the debriefing and the laboratory work missed. Several key concepts of the debriefing were given meanings that were not those used during the laboratory work. In addition, the context of their uses was different.

KEY WORDS : Chemical education, labwork, postlab session, teaching sequences, teacher activity, structure of knowledge, interaction teacher-student, learning, teacher training.

Introduction générale

Cette thèse se place au carrefour de plusieurs contextes. L'équipe COAST a été, pendant des années, leader de projets de recherche successifs : SESAMES 2002 – 2005 ; OUTILS 1999 – 2002 ; SOC 1996 – 1999. Il en résulte une tradition de collaboration entre des enseignants de lycée et des chercheurs en didactique. Leurs travaux communs ont couvert des réflexions sur l'utilisation du tableau d'avancement en Seconde (Le Maréchal et al., 2004), l'introduction de la conductimétrie en Première (Le Maréchal et al., 2002), les difficultés des élèves sur l'introduction des solutions ioniques (Gandillet et Le Maréchal, 2003) et celle de la notion d'espèce chimique (Le Maréchal et al., 2004), l'utilisation des TICE dans l'enseignement (Pekdag et Le Maréchal 2003 ; Roux et Le Maréchal, 2003) etc. Dans la continuité de ces travaux, un nouveau projet a débuté en 2005 et a réuni pendant 3 ans un groupe élargi. La présente thèse s'est largement appuyée sur des données prises grâce aux enseignants de ce groupe. Nos réflexions partielles ont été régulièrement soumises au groupe qui a pu à la fois en bénéficier, et réagir, ce qui nous a toujours permis de réfléchir à notre propre travail. La présente thèse résulte donc de ce processus complexe dont on pourrait craindre qu'il n'ait pas trop modifié les enseignants qui ont été observés dans leur pratique. Nous rétorquons par avance à de telles critiques que l'essentiel des données a été prises pendant les deux premières années de ce processus. Il est donc raisonnable de penser que l'échantillon d'enseignants était toujours dans « son état initial », l'évolution de leurs pratiques pouvant raisonnablement être supposée plus lente que l'échelle de temps de ces prises de données.

Les projets successifs ont permis d'élaborer des séquences d'enseignement bien rôdées dont le suivi existe depuis plusieurs années. A la suite de chaque utilisation, les séances s'améliorent à la suite des discussions et des observations qui les accompagnent. Nous disposons donc de séances déjà construites, et de professeurs dont certains sont habitués à les pratiquer et d'autres qui sont volontaires pour les découvrir.

Le niveau de la Seconde est une classe intéressante à étudier :

- ✗ du point de vue de la chimie, car la séquence d'enseignement, au cœur du programme, est le moment où se mettent en place les différents outils qui serviront à l'étude de la réaction chimique : structure de la matière (atome, molécule, élément chimique), la notion de quantité de matière et celle de concentration. Une telle séquence forme un tout intéressant puisque c'est le moment où les élèves découvrent le passage du microscopique (atome, molécule) au macroscopique (quantité de matière, concentration) ;

- ✗ du point de vue sociétal, car c'est, en France, la dernière année d'enseignement non différencié entre les élèves qui optent pour une carrière scientifique et les autres. La couverture de la classe d'âge est donc large et il est essentiel que les professeurs puissent se former pour l'enseignement à ce niveau. C'est également souvent la dernière année d'enseignement obligatoire.
- ✗ Le travail par activité est recommandé depuis les programmes mis en place à la rentrée 1999. Nous avons cependant remarqué qu'un tel type de travail laisse l'élève construire (en désordre) ses propres connaissances pendant la moitié du temps scolaire, mais que les professeurs sont fréquemment démunis pour organiser ensuite ces connaissances.

L'organisation pédagogique générale du groupe de professeurs qui travaillent en association avec les chercheurs commence par une activité expérimentale et de questionnement où l'élève est relativement autonome, et se poursuit par une séance de classe entière où le rôle du professeur est d'exploiter le travail effectué en TP, avant d'évaluer les connaissances acquises.

Nous nous proposons de comprendre, du point de vue des connaissances mises en jeu, le moment particulier de l'enseignement pendant lequel le professeur structure les connaissances que les élèves ont élaborées lors d'une activité expérimentale de chimie. Nous appelons ce moment débriefing de l'activité.

Connaître la chimie est, pour un part, savoir parler comme les chimistes (Mortimer et Scott, 2003). A ce titre, une activité importante du professeur, *parler*, devra être prise en compte et l'analyse de son discours sera considérée avec en arrière plan l'idée que l'apprentissage s'opère pour une part dans un plan social (interaction entre l'apprenant de son environnement – professeur et/ou autres élèves) puis dans un plan individuel (Vygotsky, 1934 : 1997). Nous utilisons cette analyse que nous prolongeons par une analyse des connaissances mises en jeu par le professeur en termes de facettes (Minstrell, 1992). Les volets d'étude de notre travail sont présentés avec la structure suivante :

Le chapitre 1, explicite l'importance de l'enseignement expérimental dans les travaux de recherche, ainsi que dans le curriculum après la réforme. L'intérêt de la séance de débriefing pour l'élève, la compréhension d'une séquence d'enseignement ainsi que pour l'activité de l'enseignant est évoqué. Nous décrivons ensuite le cadre théorique, nous posons nos questions de recherche générale et nous détaillons la méthodologie que nous avons adoptée tout au long de notre analyse dans cette thèse.

Dans le chapitre 2, une description des différentes activités expérimentales sera faite à travers la présentation des séquences d'enseignement qui ont servi pour les séances de débriefings.

Aux chapitres 3 et 4, deux des séances d'enseignement (sur le concept d'élément chimique – chapitre 3 – et sur la classification périodique – chapitre 4) seront analysées en détail. Cela permettra, avant d'aborder l'étude du professeur, de montrer la richesse du travail de l'élève que les enseignants débrièfent. Au chapitre 3, l'intérêt de l'activité résulte de l'utilisation peu classique d'une analogie pour construire le concept d'élément chimique. L'accent sera mis, au chapitre 4 sur l'importance de l'utilisation du raisonnement causal pour construire des connaissances en mettant en jeu l'argumentation. Toutes les séances, sur lesquelles les débrièfings que nous étudierons sont basés, mériteraient une telle attention, mais l'ajout de chapitres détournerait par trop l'attention vers l'élève, alors que nous voulons mettre l'enseignant au centre de notre travail.

Dans le chapitre 5, nous décrivons la structure linguistique et cognitive du débrièfing-corrigé, type le plus fréquent. La structure linguistique porte sur la catégorisation des interventions des enseignants et des élèves. La structure cognitive porte sur une analyse didactique en termes de facettes de connaissance.

Dans le chapitre 6, nous nous sommes intéressés à la présentation et la description du débrièfing impliquant une fiche de synthèse des points de vue linguistique, cognitif et sémiotique. Nous nous pencherons sur la façon dont les fiches de synthèses sont créées et utilisées par les enseignants.

Dans le chapitre 7, nous décrivons l'organisation et la structuration des connaissances dans le débrièfing ayant la forme d'un cours au sens transmissif du terme, mais basé sur l'activité expérimentale.

Dans le chapitre 8, nous décrivons les limites d'un débrièfing qui cessera d'être en relation avec le TP au moyen d'une étude de cas au cours de laquelle l'un des enseignants, supposé faire un débrièfing, intervient de telle façon que ce qui se passe n'est en fait pas un débrièfing.

Dans le chapitre 9, nous nous sommes finalement préoccupés de présenter les différents résultats d'un questionnaire élaboré à partir de nos différents types de débrièfings afin de dépasser le stade d'étude de cas des chapitres précédents.

Les chapitres 5, 6 et 7, bien que dans la continuité de la réflexion qui sous-tend ce travail, ont été rédigés avec une certaine autonomie. La synthèse de leurs résultats prend sens dans la conclusion générale qui montre que tous ces chapitres sont au service d'une même et unique thèse.

Afin de ne pas alourdir la lecture de ce travail, le détail de certaines informations sur les activités expérimentales, les productions verbales et écrites des élèves et les analyses des données sont présentées en annexes.

Chapitre 1 Problématique et méthodologie générale de la thèse

La Réforme et les conséquences

La réforme 1999 des programmes de science au lycée s'est produite dans un contexte social de crise de l'enseignement scientifique (Ourisson, 2002). Elle a mis surtout l'accent sur le questionnement des élèves lors d'un apprentissage en autonomie. (Davous et al. 2003).

D'après Eduscol, un des objectifs qui a présidé à l'élaboration de ces programmes est d'orienter un nombre croissant d'élèves vers les filières scientifiques à l'issue de la classe de seconde, mais aussi d'initier à la poursuite d'études scientifiques dans l'enseignement supérieur à l'issue du cursus secondaire. En classe de seconde, les élèves se déterminent pour l'orientation de leurs études, scientifiques ou non. Pour certains, la pratique des sciences s'arrêtera là. Le programme a donc été conçu de façon à faire sens par lui-même.

Comme le décrit le bulletin officiel de l'éducation national (BO numéro 6 du 12 aout 1999 volume 2 programmes des sciences) « *L'enseignement des sciences au lycée est d'abord conçu pour faire aimer la science aux élèves, en leur faisant comprendre la démarche intellectuelle, l'évolution des idées, la construction progressive du corpus de connaissances scientifiques.* » La logique pédagogique que sous-tendent ces nouvelles approches postule que le développement des sciences doit être favorisé par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre, et que l'exposé axiomatique de la science existante ne correspond pas au mouvement de la science en train de se faire. La science n'est pas faite de certitudes mais de questionnements et de réponses qui évoluent et se modifient avec le temps. Tout ceci montre qu'il faut privilégier avant tout l'enseignement de la démarche scientifique incluant l'apprentissage de l'observation et de l'expérience.

Les instructions précises des programmes scientifiques ont demandé de mettre en place un enseignement scientifique basé sur la démarche d'investigation. Des conséquences visibles sur les pratiques enseignantes résultant de la nouvelle démarche pédagogique sont apparues. La modification de pratique engendrée par la suppression d'un exposé préalable des connaissances, remplacée par une activité réalisée par les élèves, une démarche d'investigation, ou autres, a été suivie d'études sur l'élaboration et l'évaluation de l'activité, mais à notre connaissance, la séance de travail qui la suit n'a pas donné lieu à une investigation de type recherche didactique. Notre travail se place dans cette nouvelle optique et permet une compréhension de nouveaux aspects des séquences d'enseignement.

Dans ce qui suit, nous allons donner une vue générale du but de la science et précisément de la chimie en seconde, et nous allons nous intéresser à l'importance de l'enseignement expérimental d'une part dans les travaux de recherche et d'autre part dans le curriculum après la réforme

L'enseignement de la chimie au Lycée

L'enseignement des sciences au lycée est important et comme le décrit le bulletin officiel de l'éducation nationale (BO numéro 6 du 12 août 1996 volume 2 programmes des sciences), « les objectifs de l'enseignement de chimie et de physique au lycée répondent à plusieurs exigences :

- ✗ offrir à chacun, futur scientifique ou pas, une culture de base dans un domaine de la connaissance indispensable à la compréhension du monde qui nous entoure, et ceci à une époque où nous sommes confrontés à des choix de société, notamment en matière d'environnement,
- ✗ faire comprendre ce qui différencie la science des autres domaines de la connaissance, par une pratique de la démarche scientifique,
- ✗ faire apparaître les liens entre l'activité scientifique et le développement technologique qui conditionne notre vie quotidienne,
- ✗ permettre à chaque lycéen de s'orienter, selon ses goûts, vers des études scientifiques jusqu'au baccalauréat et au-delà, en tentant d'enrayer une certaine désaffection pour la physique, constatée récemment dans plusieurs pays occidentaux. »

C'est en effet au lycée qu'il faut amener les élèves à comprendre, d'une part que le comportement de la nature se traduit à l'aide de lois générales qui prennent l'expression de *relations mathématiques entre grandeurs physiques bien construites*, et à donner une importance à l'expérimentation qui est une démarche essentielle des sciences. Une expérience correspond toujours à une interrogation du type : si, dans telle situation, je fais ceci, que va-t-il se passer et pourquoi ? Apprendre à formuler de telles questions fait déjà partie de l'apprentissage des sciences et ne doit pas privilégier la manipulation mathématique.

Enfin signalons qu'une place privilégiée est accordée aux activités expérimentales, qui doivent avoir pour objectifs, d'apprendre aux élèves à observer, à se poser des questions et à confronter les conséquences de leurs représentations personnelles à la réalité. Elles les aideront aussi à acquérir des connaissances, des savoir-faire et surtout une méthode d'analyse et de raisonnement leur permettant de formuler avec pertinence des jugements critiques. De tels apprentissages ne peuvent être conduits que par des méthodes actives car, sans elles, la plus grande partie des élèves mobilise difficilement ses capacités d'abstraction et de concentration. De ce fait, un enseignement formel et abstrait des sciences physiques

conduirait de plus en plus à l'échec. C'est aussi pour cela que cet enseignement doit comporter une large part d'activités expérimentales.

L'enseignement expérimental

Les activités expérimentales et leur place dans les nouveaux programmes

Cette partie est issue du bulletin officiel de l'éducation nationale (BO numéro 6 du 12 août 1999, volume 2 programmes des sciences). Elle montre la place importante accordée aux activités expérimentales dans les nouveaux programmes et précisément après la réforme en 1999. « Les activités expérimentales jouent un rôle important dans l'enseignement. Celles-ci peuvent s'articuler autour de deux pôles distincts :

- ✗ l'expérience de cours,
- ✗ la séance de travaux pratiques au cours de laquelle l'élève doit manipuler seul ou en binôme.

Pourquoi un enseignement expérimental ?

- 1 - Il offre la possibilité de répondre à une *s i t u a t i o n - p r o b l è m e* par la mise au point d'un protocole, la réalisation pratique de ce protocole, la possibilité d'aller-retour entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats.
- 2 - Il permet à l'élève de confronter ses représentations avec la réalité.
- 3 - Il apprend à l'élève d'observer en éveillant sa curiosité.
- 4 - Il développe l'esprit d'initiative, la ténacité et le sens critique.
- 5 - Il lui permet de réaliser des mesures, de réfléchir sur la précision de ces mesures, d'acquérir la connaissance de quelques ordres de grandeur.
- 6 - Il aide l'élève à s'approprier des lois, des techniques, des démarches et des modes de pensée.

Ainsi, les activités expérimentales établissent un rapport critique avec le monde réel et incontournable, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être maîtrisé, où les mesures – toujours entachées d'erreurs aléatoires, quand ce ne sont pas des erreurs systématiques – ne permettent de déterminer des valeurs de grandeurs qu'avec une incertitude qu'il faut pouvoir évaluer au mieux. L'expérience de cours permet d'établir un rapport entre le réel et sa représentation. Les travaux pratiques sont le seul moyen d'appropriation de techniques et de méthodes.

Deux conditions sont nécessaires pour que cet enseignement expérimental remplisse pleinement son rôle :

- ✗ les élèves doivent savoir ce qu'ils cherchent, anticiper (quitte à faire des erreurs) un ou des résultats possibles, agir, expérimenter, conclure et ainsi élaborer leurs connaissances,
- ✗ l'enseignant doit veiller à définir les objectifs de contenus et à *limiter le nombre des compétences* mises en jeu dans une séance de TP, afin de dégager les notions qu'il veut faire acquérir. Avant toute entrée dans le processus de résolution et d'expérimentation, il doit vérifier, lors du débat, que les élèves ont compris la question et/ou les termes du problème à résoudre. »

Les activités expérimentales dans les travaux de recherche

Bien que plusieurs travaux de recherche liés à l'enseignement de la chimie aient insisté sur l'importance des activités expérimentales dans l'apprentissage, il n'existe toujours pas de théorie largement acceptée sur l'enseignement qui soit compatible avec la théorie constructiviste (Williams et Hmelo, 1998, p. 266). Par contre les activités expérimentales ont été reconnues par leur importance au niveau des relations sociales entre les élèves (Hofstein & Lunetta ; 2002) : « *It has been recognized that laboratory activities have the potential to enhance constructive social relationships as well as positive attitudes and cognitive growth* », « *but mismatches often occur between teachers' perceived goals for practical work and students' perceptions of such activities* » (Hodson, 1993, 2001; Wilkenson & Ward, 1997).»

Les activités expérimentales ne peuvent pas par elles-mêmes être en charge de l'ensemble de l'apprentissage. Même si elles ont été soigneusement conçues, les enseignants devraient considérer que l'apprentissage ne peut faire l'économie des séances d'avant et d'après les activités expérimentales, et des discussions qui les accompagnent.

Pendant ces 15 dernières années, notre groupe de recherche a été impliqué dans l'élaboration de séquences d'enseignement (Buty et al. 2004) dont les caractéristiques sont de rendre explicites les relations entre les objets manipulés, les événements observés, et les modèles qui sont l'objectif de l'enseignement. Tout en intégrant d'autres expériences d'apprentissage métacognitives tels que "prévoir – expliquer - observer " des démonstrations, etc. (White & Gunstone, 1992), les activités expérimentales doivent intégrer la manipulation d'idées au lieu de se limiter à manipuler des objets et appliquer des procédures afin de promouvoir l'apprentissage de la science.

Bien que les résultats de recherche montrent que les élèves semblent profiter d'un travail expérimental qui rattache le champ expérimental avec le monde des théories et modèles (Tiberghien, 1994), les enseignants expriment des difficultés lors de la mise en œuvre d'activités expérimentales de découverte. Notre hypothèse est que la connaissance n'est pas présentée de façon structurée et de manière formelle comme c'était le cas avec un enseignement transmissif classique. Le savoir est effectivement impliqué dans les séances de laboratoire, mais comme Chang et Lederman (1994) ou d'autres (par exemple, Wilkenson &

Ward, 1997) ont trouvé, les élèves n'ont pas les idées claires sur les objectifs généraux ou spécifiques de leur travail au cours des activités scientifiques expérimentales. Par conséquent, ils ne sont pas conscients qu'ils manipulent les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage.

Les deux types de situation d'enseignement

Pendant de nombreuses années, notre groupe de recherche a exploré, d'un point de vue constructiviste, la possibilité d'organiser des séquences d'enseignement où la relation enseignant / élèves est basée sur des activités expérimentales de découverte plus que sur des cours (Buty et al., 2004). Bien que cette approche de l'enseignement ait révélé que les étudiants mettent en jeu les connaissances objets de l'apprentissage, nous avons découvert de nombreux enseignants qui maintiennent un enseignement transmissif. Nous émettons l'hypothèse que l'organisation de la classe doit passer d'une situation satisfaisante pour l'enseignement à une situation satisfaisante pour l'apprentissage.

Deux situations d'enseignement possibles sont présentées dans la figure 1. Au cours de la première, qui était classique avant la réforme des programmes, les enseignants sont en charge de la structuration et de la formulation de nouvelles connaissances lors d'un cours (ellipse dans la figure 1), puis les élèves sont chargés d'utiliser ces connaissances dans une activité expérimentale (TP) ou dans des exercices plus tard. Cette approche transmissive de l'enseignement a été largement critiquée du point de vue constructiviste, bien qu'enseignants, élèves et parents se sentent à l'aise avec elle.

Depuis août 1999, cette situation n'est plus recommandée par le curriculum français. Une nouvelle organisation a donc pris place, en mettant des activités expérimentales au centre de l'enseignement. Ainsi au cours de ces situations, les nouvelles connaissances ont en premier lieu à être construites par des étudiants largement autonomes au cours des activités expérimentales (ellipse dans la figure 1) qui les guident dans leur démarche.

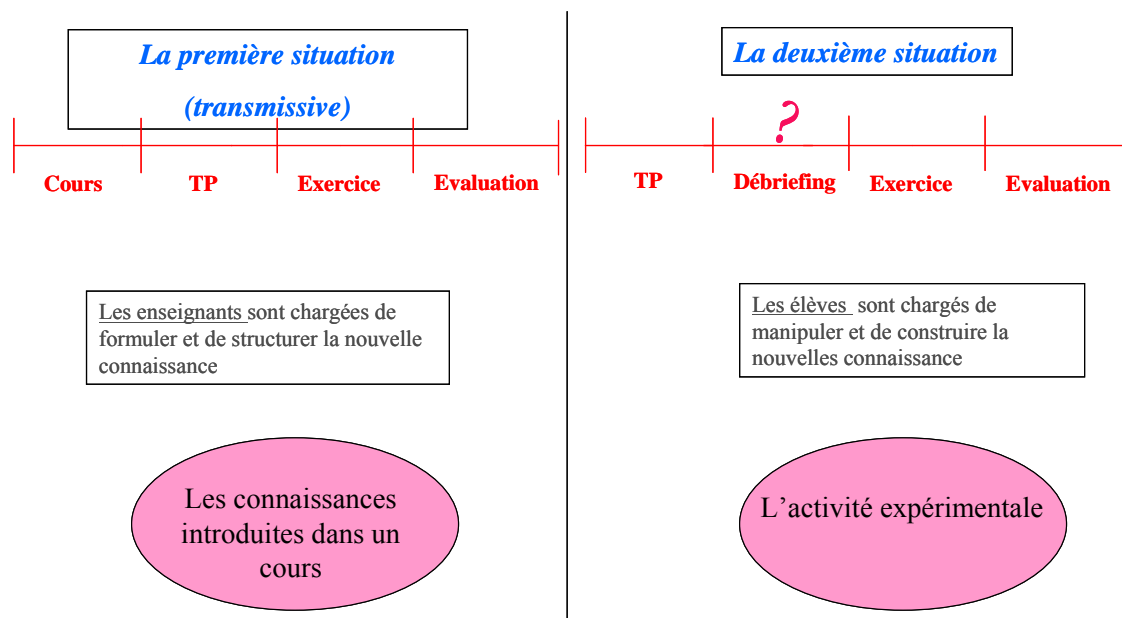


Figure 1 la comparaison entre les deux situations d'enseignement :
Avant la réforme et après la réforme.

Nous avons constaté, lors d'interviews et de discussions de groupe, que les enseignants étaient quelque peu désorientés par les situations du 2^e type. En effet :

- 1 - la grande hétérogénéité de la relation des étudiants avec les nouvelles connaissances après des activités expérimentales,
- 2 - les élèves ont commencé l'apprentissage de nouvelles connaissances alors qu'elles n'ont été ni formulées ni structurées,
- 3 - il y a eu peu de traces écrites des nouvelles connaissances et les cahiers de laboratoire des élèves ne leur permettant pas de travailler ces connaissances ultérieurement.

Les questions que nous nous posons concernent l'activité de l'enseignant pendant la séance qui suit l'activité expérimentale et la manière dont il peut rendre le TP aussi profitable que possible ?

Le contexte de la recherche et la problématique

Les instructions précises des programmes scientifiques d'août 1999 en Seconde en France ont demandé de mettre en place un enseignement scientifique basé sur la démarche d'investigation. Celle-ci, défini par des textes officiels (BO...) contient sept étapes :

- 1 - Choix d'une situation problème par l'enseignant ;
- 2 - Appropriation du problème par l'élève ;
- 3 - Formulation de conjectures, d'hypothèses, de protocoles possibles ;

- 4 - Investigation ou résolution du problème conduite par les élèves ;
- 5 - Échange argumenté autour des propositions élaborées ;
- 6 - Acquisition et structuration des connaissances ; et
- 7 - Opérationnalisation des connaissances ;

Chacune constituées de sous étapes. Cette démarche d'une grande richesse, mais également compliqué à mettre en œuvre, se traduit le plus souvent dans les faits par trois phases, la première (A) de préparation par l'enseignant (étape 1 ci-dessus) hors classe, la seconde (B) d'un travail en classe, que nous appellerons ici « Activité expérimentale » pendant laquelle les élèves travaillent en binômes, le plus souvent dans un laboratoire, constitué des étapes 2 à 4 ci-dessus et la troisième (C), de la fin de la démarche d'investigation, étapes 5 – 7 en classe entière. Dans l'esprit du programme, l'étape 3 doit être conduite par l'élève. Dans l'enseignement par activité, au sens des programmes d'août 1999, cela n'était pas le cas. Une des conséquences fut (et nous allons la réutiliser dans nos activités) de proposer à l'élève des démarches guidées sollicitant la formulation de conjectures, d'hypothèses et de protocoles qui seraient ensuite réalisés par les élèves.

Des conséquences visibles sur les pratiques enseignantes résultant de la nouvelle démarche pédagogique (2^e situation ci-dessus) et sur les manuels scolaires, notamment, sont apparues afin d'éviter d'introduire systématiquement les connaissances pendant un cours (le cadre théorique ci-dessous précise ce que l'on entend par « cours ») et de privilégier l'implication de l'élève dans des activités scientifiques (phase B ci-dessus). Il en résulte une contrainte qui impose à l'enseignant de se mettre au diapason du constructivisme, par opposition au style transmissif qui caractérisait l'enseignement avant la réforme. S'agissant d'une réforme qui modifie plus que le contenu du programme, puisqu'elle entreprend de changer la méthode d'enseignement, il faut s'attendre à des difficultés (Chevallard, 1999) que nous avons voulu explorer.

L'enseignement par activité, qui résulte de la démarche d'investigation préconisée, permet que s'instaure des *conversations* entre l'enseignant et la classe (étape 5 et 6 ci-dessus) – par opposition à la forme *discours* de l'enseignant seul face à sa classe lors d'un cours. La conversation est un moment qui permet à l'enseignant d'écouter ses élèves, et éventuellement de prendre en compte leurs connaissances.

Donc le contexte de l'enseignement par activité, nous considérons l'enseignement actuel de la chimie en classe de seconde. Celui-ci se divise en trois grandes parties : chimique ou naturel, structure de la matière et réaction chimique (figure 2).

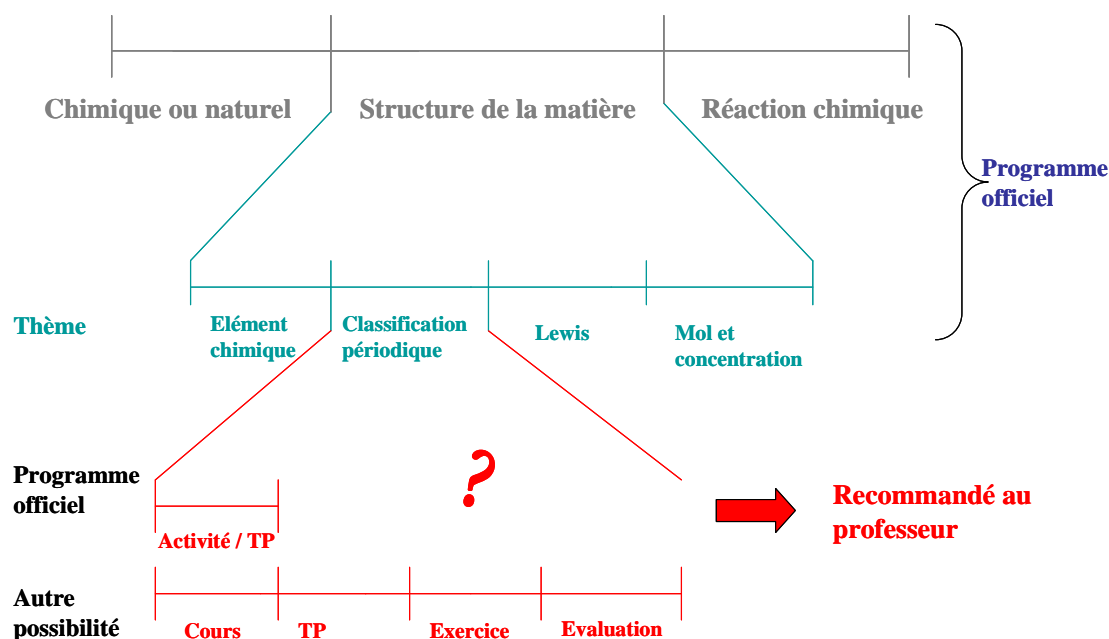


Figure 2 les différents parties de l'enseignement actuel de la chimie

Comme le montre la figure 2, l'enseignement de la structure de la matière se divise en différents thèmes. Dans chaque thème, le travail de l'enseignement consistait, avant la réforme, à enchaîner un cours, une activité expérimentale où l'élève utilisait les connaissances qui étaient mises en jeu lors du cours, des exercices et enfin une évaluation de l'apprentissage des élèves avant de passer au thème suivant. La question que nous nous posons c'est quel enseignement faire après une activité expérimentale, si elle n'a pas été précédée d'un cours qui structure les connaissances ?

Pour avoir pratiqué et étudié de telles activités pendant de nombreuses années, nous avons pu constater l'avantage d'une telle méthode pédagogique pour ce qui concerne la mise en œuvre, en activité, des nouvelles connaissances par les élèves. Il apparaît que ceux-ci mettent en jeu les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage. Ils apprennent effectivement, du moins si l'on donne au terme *apprendre* moins le sens de remplacer de vieilles idées par de nouvelles que celui de négocier un nouveau sens aux idées lors d'un procédé communicatif (Scott & Mortimer, 2003, 2002). Lors de l'activité (phase B), le débat entre les élèves d'un binôme est permanent et de nouveaux sens émergent, certains pertinents, d'autres non, et l'enseignant qui gère l'ensemble de la classe n'est pas présent pour différencier ce qui est pertinent de ce qui ne l'est pas. De plus, nous avons également constaté de nombreux inconvénients à cette méthode d'enseignement. L'absence d'un cours structuré empêche les élèves de disposer d'un cahier de cours ; ils ont à la place d'un cahier d'activités, très riche, mais où la formulation et la structuration des connaissances est bien moindre que lors d'un cours. Il s'ensuit des difficultés pour programmer des révisions et des contrôles de

connaissances. De plus, les parents d'élèves paniquent facilement, rendant la méthode pédagogique responsable de l'échec de leurs enfants.

L'absence de cours résulte d'au moins deux phénomènes. L'enseignant, qui sait que ses élèves ont fait fonctionner les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage, est peu enclin à faire un cours, puisqu'il sent que l'acquisition des notions nouvelles a été prise en charge. De plus, l'activité requiert qu'on reparle, en classe entière, des erreurs qui sont apparues dans les comptes rendus des élèves, et le contrat force l'enseignant à ce que les questions posées soient corrigées. Cela prend du temps, temps que l'enseignant trouve important, mais temps qui manque pour développer un cours.

A la suite d'une activité confiée à ses élèves, l'enseignant a donc tout intérêt à revenir sur cette activité. Cela constitue dans les faits tout ou partie de la phase C ci-dessus. Nous appelons ce retour *Débriefing de l'activité*. Nous allons voir qu'il peut être de différente nature, et que le statut de la connaissance qui est l'objet de l'apprentissage en dépend.

Ce qui se passe en classe après une activité est l'objet de cette thèse. Nous l'appelons « débriefing de l'activité » et nous allons étudier le travail de l'enseignant lors des différentes formes de débriefing de l'activité. Notre travail se distingue des nombreuses études sur la professionnalité enseignante (Chin, 2006, et les références mentionnées) par le fait que c'est généralement le moment de l'activité qui est étudié, et non ce qui suit l'activité comme ici.

Intérêt de la notion de débriefing

Pour l'élève

Par contrat, l'élève qui vient de travailler sur une activité prescrite par l'enseignant attend de celui-ci un débriefing qui peut être, par exemple, le corrigé des questions posées. L'élève attend également, à un moment de l'enseignement, que l'enseignant fournisse un texte (oral ou écrit) des connaissances qui sera ce qu'il doit apprendre et ce sur quoi il sera évalué.

Du point de vue du chercheur, nous faisons l'hypothèse que le foisonnement des connaissances mis en œuvre par l'élève pendant l'activité est organisé par l'enseignant. Il faut que celui-ci indique à l'élève quelles connaissances sont conformes au savoir enseigné et qu'il les formule dans une phase que Brousseau a appelé l'institutionnalisation. Cette activité d'institutionnalisation n'est pas la seule que le débriefing doive prendre en compte. Il faut que l'enseignant d'une part effectue un retour sur les différents textes fournis lors de l'activité, et d'autre part projette le contexte expérimental de l'activité dans le nouveau tissu de connaissances que l'élève va devoir apprendre.

Pour la compréhension d'une séquence d'enseignement

Les séquences d'enseignement traditionnelles, dans les disciplines expérimentales, ont longtemps enchaîné un cours où sont exposées les nouvelles connaissances et des applications, dont certaines sont expérimentales, comme des travaux pratiques, et d'autres sont des exercices, des études de documents, des visites de musée ou d'installations notamment. La modification de pratique engendrée par la suppression d'un exposé préalable des connaissances, remplacée par une activité réalisée par les élèves, une démarche d'investigation, ou autres, a été suivie d'études sur l'élaboration et l'évaluation de l'activité (Buty et al. 2004), mais à notre connaissance, leur débriefing n'a pas donné lieu à une investigation de type recherche didactique. Notre travail se place dans cette nouvelle optique et permet une compréhension de nouveaux aspects des séquences d'enseignement.

Pour l'activité de l'enseignant

D'après Lemke (1990), l'enseignant organise son discours autour d'un réseau thématique de connaissances. De son côté, l'élève dispose de son propre réseau thématique (il n'est pas vierge de connaissances) et essaye d'accommoder ce que dit l'enseignant. Lorsque de nouvelles connaissances sont introduites dans la classe par un monologue de l'enseignant, lors d'un cours, il arrive que l'enseignant ne s'aperçoive pas que l'élève parvient à faire fonctionner ces connaissances avec un réseau thématique différent du sien. Il en résulte qu'une confusion est entretenue. Cette situation est bien moins probable dans une séquence d'enseignement commençant par une activité au cours de la quelle l'enseignant parle peu parce que l'élève, qui a la charge de la manipulation du savoir, est relativement autonome. Le moment du débriefing est donc caractérisé par le fait que l'enseignant reprend la responsabilité de la manipulation du savoir, en relation avec l'activité. Cette relation avec l'activité doit respecter *simultanément* deux conditions : les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage dans l'activité doivent se retrouver dans le débriefing, de même que le contexte dans lequel l'activité a été conçue pour la mise en œuvre de ces connaissances.

Le comportement de l'enseignant est dit « d'autorité » (*authoritative* – Lemke, Mortimer), non pas que le enseignant utilise des arguments d'autorité, mais parce qu'il ne prend pas en compte les connaissances exprimées par l'élève. Dans le cas contraire, le discours de l'enseignant est dit dialogique, au sens où les connaissances de l'élève sont considérées dans le discours de l'enseignant, même si elles diffèrent de celles qu'il cherche à enseigner. Entretenir un discours dialogique avec sa classe est d'autant plus difficile que les élèves s'expriment peu (par rapport au temps de parole de l'enseignant) en particulier au cours d'un débriefing, et que c'est seulement au travers de cette expression que l'enseignant peut s'apercevoir de l'incompréhension éventuelle d'élèves.

La question de la forme que l'enseignant donne au débriefing est entière. En effet, comment l'enseignant peut-il structurer son débriefing tout en respectant simultanément les deux conditions énoncées ?

L'activité de l'enseignant et de l'élève

En chimie et ce qu'on appelle « activité » expérimentale présente quelques différences essentielles avec les autres disciplines, car l'enseignant est souvent contraint à plusieurs exigences

- ✗ Il va dans un lieu spécifique (laboratoire, salle d'ordinateur).
- ✗ Il n'a que la moitié de la classe.
- ✗ Il optimise cette organisation en utilisant toute la séance.
- ✗ Il s'agit soit d'une activité de découverte d'un thème de chimie, soit d'une autre expérimentale en laboratoire, soit d'une activité simulée en salle informatique.
- ✗ Il est avec ses élèves parfois dans le laboratoire pour une activité souvent longue (1h20mn)

Dans nos activités, l'enseignant délègue à l'élève la charge de manipuler le savoir, ce qui fait que chaque binôme est l'acteur central de la situation. L'enseignant interagit tour à tour avec les binômes et de temps en temps avec la classe pour donner une remarque et attirer l'attention sur une observation.

L'« Activité expérimentale », la seconde étape (B) du travail en classe, est constituée des étapes 2 à 4 ci-dessus, pendant laquelle les élèves travaillent en binômes. Elle est, pour nous, une activité où l'élève travaille, il a fait sien le problème posé par le professeur ; autrement dit avec les termes de Brousseau, il s'agit d'une situation de dévolution. Dans la fiche de l'activité expérimentale et comme le montre la figure 3 nous trouvons deux types de questions :

- ✗ questions de type a (Qa dans la figure 3) qui mettent en relation les éléments de la situation (les actions manipulatoires et expérimentales mettant en jeu) et les connaissances antérieures.
- ✗ questions de type b (Qb dans la figure 3) qui évoquent le lien entre les éléments du contexte du TP ainsi que des nouvelles informations.

Toutes ces informations rassemblées constituent l'activité expérimentale sur laquelle l'élève doit travailler. Lors du débriefing l'enseignant, en s'appuyant sur les deux types de questions (Flèche pointée sur la figure 3), doit arriver à transformer les nouvelles informations en des nouvelles connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage.

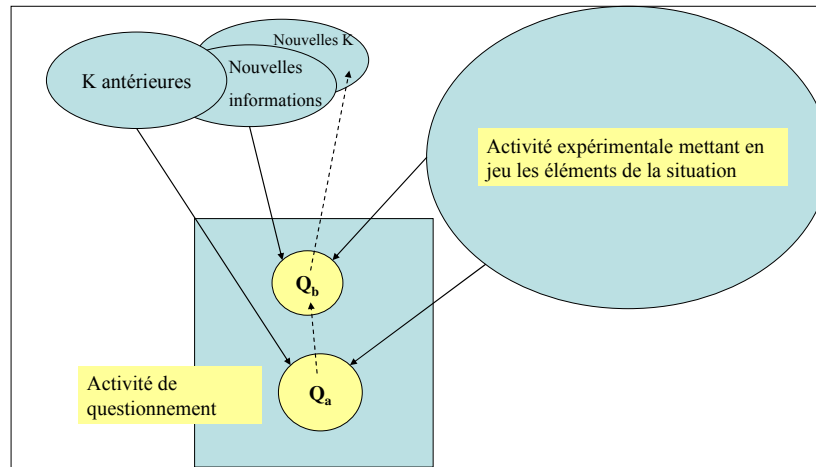


Figure 3 la représentation des activités expérimentales
(K=connaissances, Qa = questions type a, Qb = questions type b)

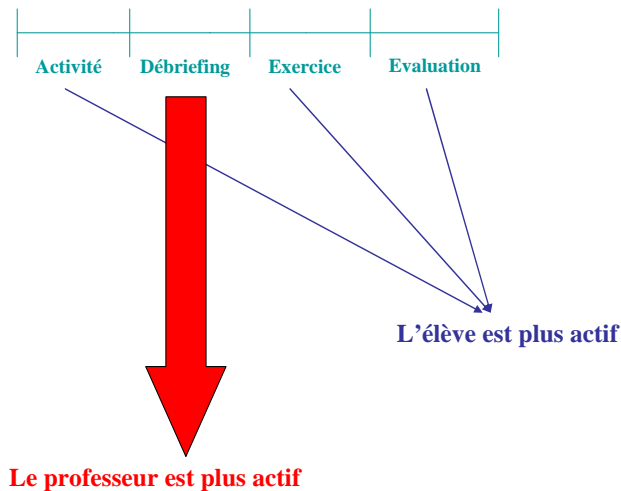


Figure 4 les activités de l'enseignant et de l'élève lors de différentes phases de la séquence d'enseignement

Comme le montre la figure 4 la phase activité / TP est celle où l'élève est le plus actif. Etant donné la réforme et la place des activités expérimentales, les élèves, lors du TP, travaillent en autonomie, manipulent, parlent avec leur binôme, écrivent les résultats des expériences, les interprétations et les observations (tableau 1).

Pendant le débriefing, l'enseignant est le plus actif. Nous supposons qu'il parle beaucoup, organise la discussion, fait évoluer l'interaction avec ces élèves, écrit et dessine parfois les montages d'expérience pour contextualiser la situation, manipule et refait l'expérience s'il y a nécessité. L'analyse de cette activité est au cœur du travail de cette thèse. Nous allons donc centrer nos observations sur l'enseignant.

	Activité	Débriefing	Exercice	Evaluation
Professeur	<ul style="list-style-type: none"> - circule - surveille - parle occasionnellement (explique) 	<ul style="list-style-type: none"> - parle beaucoup - écrit au tableau - manipule 	<ul style="list-style-type: none"> - classe - Donne des instructions - Maison rien 	surveille
Elève	<ul style="list-style-type: none"> - manipule - parle beaucoup - écrit 	<ul style="list-style-type: none"> - parle peu - écrit sur son cahier 	- écrit beaucoup	<ul style="list-style-type: none"> - écrit - Fait l'évaluation

Tableau 1 Les différentes actions de l'enseignant et de l'élève lors des différentes phases de la séquence d'enseignement.

Le cadre théorique général: La structure linguistique et cognitive

Apprendre est un processus qui met le plus souvent en jeu un individu en interaction avec d'autres. Ce que Mercer (1995) appelle la « construction guidée de la connaissance » met donc en œuvre le langage dont l'analyse a été largement abordée par les linguistes. La façon dont une conversation est structurée (Orecchioni, 1996) doit donc s'appliquer quand un enseignant parle. L'ethnographie de la communication a été mise au service de ce qui se passe en classe du point de vue des interactions langagières. Il a ainsi été montré que l'enchaînement des comportements des élèves et de l'enseignant pouvait être segmenté en unités discrètes qui répondent à quelques règles récursives. Cela signifie que, d'un point de vue global pour un enseignement en classe entière, le discours en classe peut se décomposer en épisodes. Ceux-ci se découpent en phases elles-mêmes constituées de séquences d'interactions entre l'enseignant et les élèves (Mehan, 1982).

L'étude de la structure linguistique n'est pas la seule à être pertinente pour comprendre ce qui se passe dans une classe. La structure cognitive doit l'être tout autant. Pour cela nous considérerons que le savoir peut être décomposé en éléments : les facettes de connaissances. Il va être essentiel d'articuler ces deux types d'outil d'analyse.

La structure linguistique : L'analyse conversationnelle

Les travaux de recherche sur l'analyse du discours

Avec l'accroissement des terrains d'investigation, toute production verbale ou non verbale, orale ou écrite peut devenir de nos jours un objet d'analyse du discours. Selon Dominique Maingueneau (1989: 18) «*tout discours peut être défini comme un ensemble de stratégies d'un sujet dont le produit sera une construction caractérisée par des acteurs, des objets, des propriétés, des événements sur lesquels il s'opère*». C'est pour cette raison que la variété des corpus est indissociable de la variété des approches et des présupposés théoriques. Barry (2002) a présenté les différentes approches en analyse de discours.

L'analyse des interactions en classe est devenue une question centrale pour les didactiques des disciplines. Autrement dit il est toujours déterminant de pouvoir connaître objectivement ce qui se passe effectivement dans les salles de classe, que celles-ci soient "normales" ou "expérimentales", que les élèves se trouvent en apprentissage guidé (en cours) ou en apprentissage autonome (en TP par exemple) (Bouchard et Rolet 2003). Brousseau (1995) a fait des propositions portant sur la régulation des interactions en classe (contrat didactique, dévolution...) ; Sensevy (2007) a catégorisé les activités de l'enseignant en quatre : définir, réguler, dévoluer et instituer. Chevallard (1995, 1997), Mercier, Sensevy (2000, 2002) de leur côté ont proposé une modélisation de l'action de l'enseignant (notions de chronogenèse, topogenèse, et mésogénèse), mais sans prendre en compte spécifiquement la dimension langagière. Fischer et al. (2005) a décrit les différentes actions verbales et manipulatoires de l'enseignant. Mork (2005) a présenté les raisons pour les différentes interventions et stratégies de l'enseignant en fonction des objectifs du curriculum. Tiberghien (2007 a, b) a analysé une séquence d'enseignement à l'échelle mésoscopique (organisation de classe, thèmes, ressources, phases didactiques, actions de l'enseignant et description du contenu). André Robert (1999), a étudié les échanges en classe de mathématiques.

La complexité des phénomènes interactionnels caractéristiques d'une classe en fait une question toujours actuelle (Filliettaz 2002). Rolet et Bouchard (2003) ont proposé une méthode générale de l'étude des interactions didactiques. Divers études ont été faites sur l'analyse de conversations classées depuis Levinson (1983) sous les étiquettes d'analyse du discours et d'analyse conversationnelle. D'après Bouchard (1998), l'étude des interactions en classe a été un des premiers terrains de la jeune analyse du discours oral (Sinclair et Coulthard 1975). Sinclair & Coulthard remarquaient dès 1975 que ces unités de grande taille correspondent à l'activité sociale en cours et, par voie de conséquence, varient avec celle-ci. Pour la même raison, Roulet et al., dans leurs différentes publications (1985, 1999) se sont essentiellement intéressés aux trois unités les plus petites, l'échange, l'intervention et l'acte, les plus régulières dans leur comportement pragmatique, laissant de côté l'incursion et plus encore la transaction. Kerbrat-Orecchioni (1996) de son côté préfère atténuer ce "rang" (la

transaction) en lui ôtant tout nom spécifique pour simplement parler de "séquence d'échanges".

Partant de l'intervention pédagogique portant sur le calcul mental, Bouchard et Rolet (2003) progresseront vers des unités didactiques de rang inférieur (cf. Filliettaz dans Roulet et al. 2001). Ils en distingueront trois : les phases (ou moments), les épisodes et les étapes. Les unités, ou constituants, obéissent au principe de composition hiérarchique qui s'énonce ainsi : « Tout constituant de rang n est composé de constituants de rang $n - 1$ ». Les constituants de la conversation sont l'incursion, la transaction, l'échange, l'intervention et l'acte de langage (Santacroce, 2000).

L'analyse des interactions en classe est devenue donc une question centrale pour les didactiques des disciplines c'est qu'on peut remarquer d'après ce parcours des différents travaux de recherche. Nous allons dans ce qui suit nous intéresser à l'échange ternaire parce qu'on cherche à étudier et décrire les différentes activités de l'enseignant dans la séance de débriefing principalement dans chaque intervention. Pour Sinclair & Coulthard (1975), Roulet (1985) ou Moeschler (1985), l'échange le plus classique est l'échange ternaire. Celui-ci comprend trois unités de rangs inférieurs : les interventions. D'autres chercheurs diront plus prudemment qu'il est constitué d' "au moins" deux interventions (Orecchioni, 1996 ; Traverso, 1999). L'échange ternaire, dont la dernière intervention peut être très fortement investie didactiquement (ex Question, Réponse, Evaluation/institutionnalisation), est considérée comme fiable pour l'analyse de beaucoup de leçons de type dialogué (Bouchard, 1981 ; 1998 ; 1999).

Les constituants de l'échange sont les interventions (Goffman, 1973 ; Sinclair et Coulthard 1975). Dans le modèle hiérarchique et fonctionnel, La structure basique d'un échange peut être représentée sous la forme arborescente suivante:

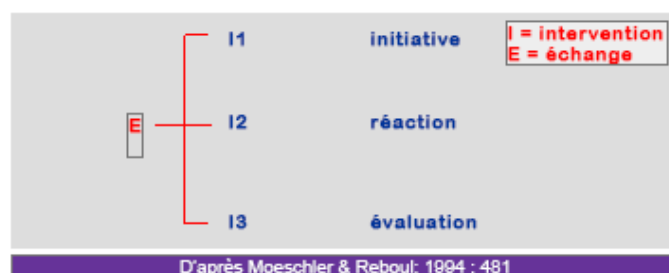


Figure 5 Structure de l'échange ternaire d'après Moeschler et Reboul (1994).

Ce modèle ternaire postulé également par Mehan (1978) pour l'interaction pédagogique, a été généralisé ensuite à l'ensemble des conversations. Certains linguistes de l'école de Birmingham, qui accompagnaient les travaux de Sinclair et Coulthard, ont même montré que

ce dispositif interactionnel ternaire pouvait être considéré comme spécifiquement pédagogique. L'échange pédagogique se spécifie de la manière suivante (Bouchard 2005) :

- ✗ première intervention : question pédagogique comme moyen d'information tout en mobilisant l'attention des élèves sur un thème explicitement ouvert par la question ;
- ✗ deuxième intervention : réponse d'un élève (sélectionné à cet effet) et
- ✗ troisième intervention : évaluation, mais surtout apport de l'information « officielle » par le maître qui répète la bonne réponse de l'élève et la reformule.

L'analyse du discours dans nos débriefings

Lemke a joué un rôle important dans les études du discours en science de l'éducation cité par Kelly (2007). L'organisation du discours est souvent de la forme « question-réponse-évaluation », visée par Lemke que c'est un dialogue triadique. Cette tendance a même été étiquetée IRE (initiation-response-evaluation) (Orecchioni, 1996) or IRF (initiation-response-feedback =rétroaction); voir Cazden (2001), Mehan (1979), et Sinclair & Coulthard (1975).

L'analyse conversationnelle a été utilisée en didactique et permet une approche générale sur l'analyse des corpus (Orecchioni, 1996; Mehan, 1979). Nous considérons qu'une discussion de classe consiste en un dialogue entre deux locuteurs : l'enseignant et la classe. Par contrat, l'enseignant a la responsabilité de l'organisation du travail, y compris des discussions et, dans certaines situations, il parle et donne la parole à un élève avant de la reprendre. On est donc bien dans un système de dialogue.

Une interaction (voir figure 6) entre deux locuteurs s'organise le plus souvent sur la base d'un échange ternaire au cours duquel l'un des locuteurs initie la conversation (intervention I), le second répond (intervention R), et le premier reprend la parole pour une intervention appelée évaluation par certains auteurs (Orecchioni, 1996) (intervention E) ou feedback par d'autres (Mortimer, 2000). Cette structure interactive a déjà été remarquée lors de discussions de classe qui s'organisent suivant la structure IREIREIREIRE etc. (voir figure 6 et figure 7)

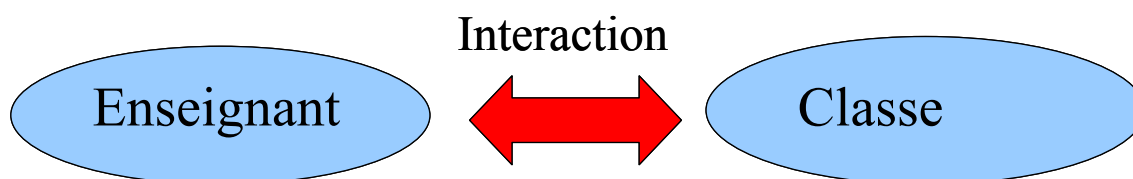


Figure 6 L'interaction représentée entre deux locuteurs : l'enseignant comme et la classe.

La structure IREIREIREIRE se présente en classe et selon les interventions de l'enseignant et les élèves comme convenu dans la figure 7. Nous pouvons remarquer d'après cette figure

(7) que dans une même intervention de l'enseignant se trouve l'évaluation du premier échange et la nouvelle initiation de l'échange suivant. Ce qui est entre accolades c'est ce que nous appelons échange ternaire.

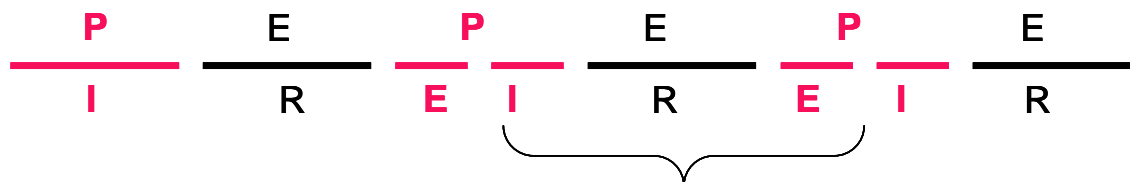


Figure 7 L'échange ternaire : l'initiation de l'enseignant, la réponse de l'élève, et l'évaluation de l'enseignant.

L'échange ternaire peut également se doubler d'échanges enchâssés, quand, au sein d'un échange ternaire, s'instaure une succession d'interventions A (par un locuteur A) et B (par un locuteur B) qui permet de demander plus de précisions. L'interaction se structure ainsi : IREIRABABEIRE, et se trouve également dans les discussions de classe (Mortimer, 1998 ; Mortimer and Scott, 2000) ainsi que d'autres voir la figure 8 ci-dessous.

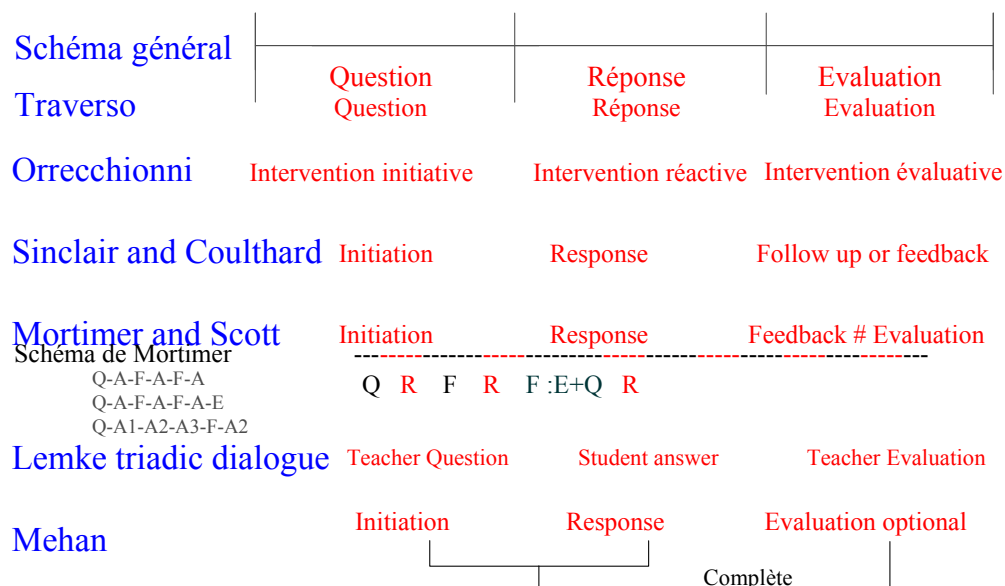


Figure 8 Les différents auteurs parlant de l'échange ternaire

Une telle approche linguistique permet de structurer notre analyse des pratiques enseignantes en étudiant les interventions I d'une part, et E d'autre part, toutes deux sous la responsabilité de l'enseignant. On constate que l'analyse du discours ne dépend pas de l'habituel découpage en tours de parole puisque les interventions E et I consécutives sont dans le même tour de parole de l'enseignant. Par ailleurs, les éventuels échanges enchâssés peuvent être étudiés séparément. L'étude de la conversation s'intéressera également aux interventions de l'élève.

La structure cognitive : l'analyse didactique

Les travaux de recherche sur les facettes de connaissances

La question "de grain de connaissances" a été peu explicitée dans la littérature. Nous considérons que certains chercheurs ont pris une macro-perspective et ont discuté la connaissance des étudiants en prenant des éléments de grande taille, comme une loi ou un concept tel que l'impetus chez McCloskey (1983). D'autres, comme nous l'avons vu dans le cadre théorique avec Niedderer et von Aufschnaiter, prennent une unité de taille plus petite et proche de la verbalisation de l'élève (Niedderer et Schecker, 1992). Nous avons choisi, comme l'on fait Kûçüközer (2005), Tiberghien (2007), El Bilani (2007), et Malkoun (2007), une petite taille pour les connaissances, en restant proche de la verbalisation. Dans notre cas, les productions verbales de l'enseignant seront décomposées en termes de facettes de connaissances.

Cette analyse, qui correspond à la décomposition en "petits éléments" de savoir, permet de repérer les connaissances dans les productions verbales des enseignants, et éventuellement de les comparer entre elles. Nous reprenons le terme de "facettes" introduit par Minstrell (1992) et repris par Galili et Hazan (2000) pour nommer ces petits éléments. Dans ce qui suit nous allons présenter les travaux de Minstrell et Galili et par la suite projeter le cadre de Minstrell dans notre analyse.

Pour Minstrell, *"the Facet Codes are slight abstractions of what students say or do when confronted with a situation in which they are asked to predict or explain a physical phenomenon. Although our research has investigated students' conceptual understanding, many of the Facets have been identified in the research done by others. We can not possibly acknowledge all those researchers who have contributed. The Facet Codes are our attempt to organize the phenomena of students' conceptual understanding ».*

Minstrell se propose donc d'identifier, de cataloguer et de lister des éléments de connaissance ou de raisonnement qu'il appelle des facettes. Pour lui, une facette de connaissance est une unité de pensée, un élément de connaissance ou une stratégie apparemment utilisée par l'élève quand il travaille et précisément dans une situation particulière.

Pour Galilli et Hazan (2000), *« facets may represent consistently applied explanations manifested in a declarative knowledge, but not only. They can also express certain strategies, elements of students' characteristic behavior procedural knowledge, when coping with particular questions and problems. Facets are more context specific, and thus less fundamental than p-prims. Facets may incorporate several concepts, related in such a way as to represent individual comprehension of the situation. »* (p.S3-S4)

Galili et Lavrik (1998) et Galili et Hazan (2000) arrangent et catégorisent les réponses des étudiants dans une structure à deux niveaux hiérarchiques : "les facettes de connaissance" constituent le niveau inférieur, "les schèmes de connaissance" constituent le niveau

supérieur. Les schèmes représentent un mécanisme causal commun qui est partagé par un groupe de facettes (figure 9). Chaque schème représente un certain modèle causal, un mécanisme explicatif commun (Galili et Lavrik 1998).

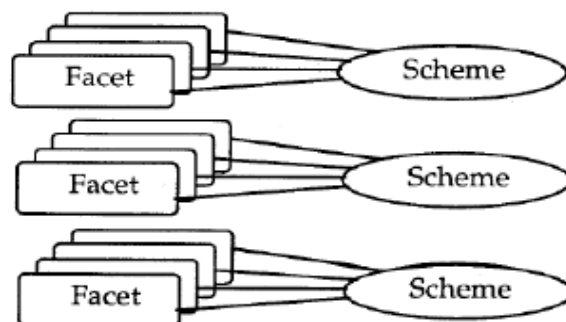


Figure 9 La structure hiérarchique suggérée pour représenter la connaissance des étudiants. (Galili et Lavrik 1998, p.594)

Galili met l'accent sur la difficulté de reconnaître le même mécanisme causal qui est à la base d'un groupe entier de facettes, déployées par des individus divers dans une variété de situations. Ces auteurs identifient et cataloguent des éléments de savoir ou de raisonnement que les élèves semblent appliquer dans différentes situations. Ces éléments ont la taille d'une phrase et sont appelés "facettes". Ils utilisent le langage des étudiants quand ils justifient leurs réponses, leurs prédictions ou leurs explications.

Identification des connaissances par facettes dans nos débriefings

Après cette introduction de l'utilisation du terme de "facettes" par Minstrell (1992) et sa reprise par Galili et Hazan (2000) pour nommer les petits éléments. Nous allons prendre en compte dans notre analyse les facettes au sens de Minstrell ; nous allons catégoriser et analyser les connaissances mises en jeu dans les productions verbales de l'enseignant lors du débriefing. Pour Minstrell, « la plupart des connaissances des élèves sont pertinentes, elles peuvent avoir besoin de modification, de limitation ou d'élaboration, mais elles sont utiles ». Cet auteur choisit d'utiliser le terme facette afin d'éviter l'association avec d'autres termes comme les «mauvaises» conceptions. Minstrell utilise la langue des étudiants quand ceux-ci justifient leurs réponses, prédictions ou des explications. Il essaye de capturer l'intention de chaque idée exprimée dans une déclaration. Il explique que, en général, les élèves amalgament des idées proches en ne les différenciant pas entre elles, qu'ils n'élaborent pas de relation entre les différentes « clusters » de connaissance et qu'ils n'essaient pas de délimiter le contexte d'application de ces connaissances (Minstrell 1992, p.117).

Une facette peut généraliser les commentaires de plusieurs étudiants : Minstrell essaye de le faire par une description précise de ce que les étudiants disent en réalité ou font. L'utilité des

facettes peut dépendre du contexte de la situation. Selon Minstrell, il y a de nombreuses raisons pour choisir les facettes comme l'unité de description et d'analyse. Tout d'abord, il considère que de nombreux éléments de connaissances des étudiants sont utiles à leur apprentissage de la physique. Ces éléments de connaissance peuvent servir d'ancrages pour construire de nouvelles connaissances.

Pour nous une facette de connaissance correspond à une phrase qui a du sens, même si celui-ci n'est pas en accord avec le savoir enseigné. C'est une connaissance « de petite taille ». Autrement dit c'est un énoncé relatif au savoir et ayant un sens minimum. C'est une utilisation d'un concept ou de plusieurs concepts en relation.

En effet une même connaissance est exprimée différemment par rapport aux individus. L'interlocuteur 1 dans son interaction avec l'interlocuteur 2, exprime sa connaissance et la met en jeu sous forme de « facettes ». Ce qui fait que la connaissance n'est pas observable autrement dit c'est ce qui se trouve dans la pensée de l'interlocuteur. Tandis que la facette de la connaissance correspondante peut donc être considérée comme un observable. (voir figure10).

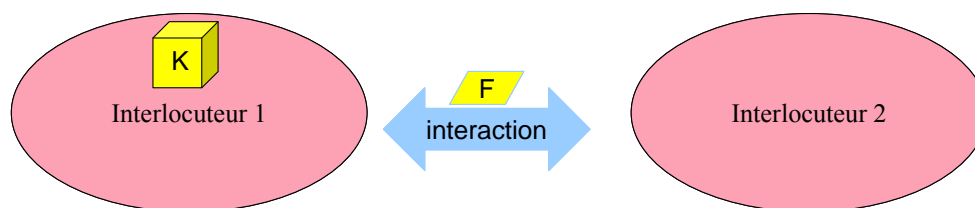


Figure 10 La représentation de la facette de connaissance.

Concepts sensibles

Un enseignant scientifique découpe son enseignement avec des objectifs de travail que nous ramenons à la mise en œuvre d'un certain nombre de concepts. Parmi ceux-ci, certains sont nouveaux, pour d'autres, en particulier ceux récemment introduits, le travail consiste à étendre leur champ d'application. Les uns et les autres seront dit *sensibles* parce que, lors de la séance, ils sont l'objet de l'apprentissage (Le Maréchal & Mercier, 2006). Les concepts sensibles correspondent à des connaissances qui apparaissent sous forme de facettes dans le discours de l'enseignant, par écrit dans des documents distribués ou dans le manuel, ou éventuellement émergent lors de l'activité des élèves. Nous n'allons considérer comme concepts sensibles que ceux apparaissant dans le texte du curriculum (contenu, exemples d'activités, et connaissances et savoir faire exigibles) relatifs à la partie concernée. Les concepts ont été représentés par les deux premières lettres de leur nom la première en majuscules et la deuxième en minuscules. Par exemple espèce chimique est représenté par Ec.

Complexité d'une facette de connaissance

La définition de la complexité d'après le trésor de la langue française informatisé « *caractère de ce qui est complexe, fait d'être complexe (souvent par rapport à un objet de même nature qui l'est moins)* ». En science, il est généralement accepté que les connaissances peuvent être construits et utilisés avec différents degrés de complexité ou d'abstraction. Nous pouvons imaginer le développement de la complexité comme la capacité de penser de plus en plus abstraitement (Aufschnaiter, 2003). Par conséquent, le développement conceptuel nécessite de changer la cognition d'un taux inférieur (plus concret) à un plus haut (plus abstrait) niveau de complexité (Svensson, 1989; Chi et al., 1994; Nachlieli & Fischbein, 1998; Minstrell, 1992). Jusqu'à présent, cependant, peu d'études ont examiné les différentes complexités de la connaissance (Marini & Case, 1994; Case, 1985). Aufschnaiter (2003) parle de la complexité de la connaissance parmi les trois dimensions (content=contenue, speed=rapidité and complexity=complexité) de développement des processus cognitifs. Elle parle de 4 niveaux de domaines progressifs de complexité croissante et hiérarchique. Dans notre analyse nous allons avoir recours à la complexité de la facette de connaissance, ce différencie notre travail de celle d'Aufschnaiter. Un regroupement par concept sensible a été effectué, avec d'une part les facettes où un seul concept intervient, et d'autre part par groupe de concepts en relation. Nous considérons que les facettes correspondant aux concepts sensibles sont plus ou moins complexes. Nous limitons la mesure de cette complexité au nombre de tels concepts qui apparaissent en relation autrement dit le nombre d'attributs mis en relation dans les facettes utilisés. Des exemples sont donnés dans la partie méthodologie.

Utilité de l'outil méthodologique : les facettes

L'intérêt de la notion de facettes (Minstrell, 1992) tient au fait que ce sont pratiquement des observables, ce qui permet l'identification ou la comparaison de l'état d'une connaissance entre plusieurs individus ou situations. L'aspect pratique des facettes de Minstrell nous a permis de l'utiliser comme outil méthodologique pour identifier les connaissances mises en jeu par les enseignants lors de leurs débriefings d'activités et de rester proche de la verbalisation de l'enseignant. Autrement dit grâce aux facettes nous sommes capables de faire une analyse du savoir ou analyse didactique. A partir des productions verbales des enseignants, nous avons établi des listes de facettes qui nous ont permis de faire des comparaisons entre les facettes énoncées dans différentes situations (les différents débriefings d'un même enseignant) et avec éventuellement différents locuteurs (les débriefings des différents enseignants). Il sera ainsi possible de compter le nombre de facettes relatives à des connaissances données dans un discours, ou dans un texte, et les comparer entre eux. Il est également possible de comparer la complexité de ces facettes. Nous avons étendu la notion de facettes aux manuels scolaires et modèles.

La continuité : Réutilisation d'une facette

La « continuité » du savoir (Tiberghien & al. 2007 a et b) est la prise en compte de la réutilisation d'un élément de savoir au cours de l'enseignement introduit par Tiberghien et Malkoun (2007): *"la reprise d'un élément de savoir nouvellement introduit peut favoriser son apprentissage"*. La continuité est exprimée, de façon générale, par le taux de réutilisations des éléments de savoir par rapport aux introductions. La durée de l'enseignement pouvant correspondre à une séance, ou plusieurs séances.

La notion de continuité de savoir nous aide dans notre travail d'une part à identifier le lien entre les différents débriefings s'il en existe à travers la réutilisation, dans un débriefing, des connaissances mises en jeu dans des débriefings précédents. D'autre part elle va nous permettre d'identifier l'utilisation de la même facette de connaissances, que ce soit plusieurs fois tout au long de la même activité, ou par différentes enseignants.

La densité de la facette

Une autre notion, celle de "densité" du savoir, peut être aussi informative de la dynamique du savoir enseigné en classe. " La densité" (Tiberghien & al. 2007 a et b) est *"le nombre de facettes en rapport avec une durée de l'enseignement pour un thème, une série de thèmes ou une séquence"* (Tiberghien & al., 2007a). Dans notre cas, nous calculons la densité des facettes par débriefing.

Cette notion de densité nous informe sur le nombre de facettes mises en jeu par l'enseignant pendant une durée déterminée et sur un thème donné. La comparaison du nombre de facettes trouvés dans les débriefings (traitant du même thème) de différents enseignants va nous permettre de savoir si ce nombre est constant par rapport à un thème ou s'il dépend des enseignants.

Les formes d'enseignement

Les termes pour décrire les formes d'enseignement nécessitent d'être définis, chaque enseignant les utilisant en fonction de sa propre pratique. Zee et coll. (2001) considèrent

- ✦ les monologues transmissifs de l'enseignant que l'on nomme en Anglais *lectures*
- ✦ les *ré citations*, quand l'enseignant interroge les élèves pour voir ce qui a été retenu,
- ✦ les discussions guidées (par l'enseignant),
- ✦ les enquêtes par les élèves, et
- ✦ les discussions entre pairs.

Dans ce travail, nous définissons les formes d'enseignement avant tout par la façon dont le savoir fonctionne. Nous parlerons d'exposé de cours quand l'enseignant est seul responsable

du savoir (*lecture*). Certains auteurs francophones parlent de cours frontal. Un exposé de cours est un moment particulier où l'enseignant est dans un style de quasi-monologue face à la classe. C'est une pratique au cours de laquelle il est plus simple d'exposer le savoir sous une forme structurée et bien formulée, en raison de la quasi-absence d'interruption de l'exposé et par le fait que la différence entre sa préparation et sa réalisation peut être minime. Nous appellerons activité expérimentale ou activité de classe la forme d'enseignement où l'élève est essentiellement responsable du savoir. Le TP traditionnel est de ce type, ainsi que le TD pendant lequel les élèves cherchent à résoudre un exercice. Il existe le plus souvent un texte de l'activité qui a été organisé (ou choisi) par l'enseignant. Pour autant que les activités expérimentales soient concernées, nous avons constaté deux types de textes d'activité. Ceux qui donnent un mode opératoire suivi de questions et ceux, que nous pratiquons, pour lesquels les questions et le mode opératoire sont entremêlés. Avec cette seconde option, le concepteur sollicite explicitement le fonctionnement du savoir chez l'élève alors qu'il est dans une phase manipulative. Les manuels scolaires adoptent un style ou l'autre.

Enfin le débat, ou la discussion de classe est une troisième forme d'enseignement que l'on caractérisera par le fait que la responsabilité du savoir est partagée (Lemke, 1990). L'enseignant démarre le débat ou la discussion de classe par une question, sollicite des élèves des réponses, rebondit, etc. Lemke donne des règles implicites d'une telle procédure qu'il appelle « dialogue de classe » (ibid, p.5)

Activité de Modélisation : Catégorisation et articulation des niveaux de connaissances en chimie

Les travaux de recherche sur l'activité de modélisation

Vue leur importance centrale en chimie, il y a eu beaucoup de recherches sur la nature et l'utilisation des modèles dans le domaine des sciences et de l'éducation. Ce qui fait qu'au cours des dernières années les modèles et la modélisation sont devenus essentiels dans la recherche en chimie (Francoeur, 1997 ; Gilbert, Boulter, Ruthford, 1998 ; Rouse et Morris, 1986). Pourquoi ? « *Chemistry is essentially a science of abstractions* » (Justi and Gilbert, 2006). Et comme conséquence les chimistes cherchent à représenter les phénomènes qu'ils observent (niveau macroscopique), à expliquer les idées comme des événements (niveau microscopique). Pour cela et en accord avec de nombreux physiciens, épistémologues (Bunge, 1975 ; Wallisser, 1977 ; Bachelard, 1979) et didacticiens (Méheut et al, 1990 et 1994 ; Méheut 96 et 97 ; Larcher et al, 1990 ; Martinand, 1992, Tiberghien, 1994-2005), nous considérons que la modélisation est un processus essentiel du fonctionnement des sciences.

La description ou l'interprétation d'un phénomène en physique nécessite un modèle qui, en général, dépend d'une théorie physique (Bunge, 1975). La notion de modèle n'a pas une définition unique, cette définition varie suivant la discipline scientifique et le terme de modèle est utilisé par de nombreux auteurs avec des contenus forts divers (Johsua et Dupin 1993, p.15). Mais nous pouvons dire que le modèle est peut-être l'intermédiaire entre ce qui est observable (le monde des objets et les événements) et le monde de la théorie que l'on convoque pour donner une interprétation ou une prédiction (figure 11). Des didacticiens ont utilisé différents modèles pour expliquer des phénomènes que les sujets (élèves ou étudiants) ne peuvent pas appréhender dans le savoir scolaire : le modèle particulaire des gaz (Meheut, 1990), le modèle des mondes des objets/événements et de la théorie/modèles (Tiberghien, 1994-2005) (voir figure 11) etc.

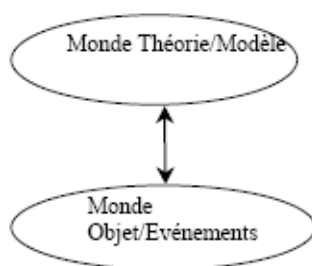


Figure 11 Les relations entre les deux mondes

Une approche constructiviste largement partagée sur l'apprentissage d'un concept en physique ou en chimie formule l'hypothèse que les élèves apprennent lors d'une activité de modélisation, c'est-à-dire s'ils mettent en relation différents types de connaissances (Tiberghien, 1994a). L'intérêt de cette approche est qu'elle permet aux élèves de mieux comprendre le fonctionnement de la physique et de pouvoir interpréter ou prédire les phénomènes en utilisant un modèle adéquat.

Certains didacticiens utilisent les niveaux microscopique et macroscopique pour catégoriser les conceptions des élèves relatives à un concept ou un phénomène chimique (Ben-Zvi et al., 1990 ; Johnstone, 1993 et 2000). Divers recherches ont été faites sur l'intérêt de l'activité de modélisation et la capacité des élèves de faire le lien entre les niveaux de connaissances en présence d'un simulateur (Beaufils et al., 1987 ; El Bilani, 2007), sur le processus de pensée selon Ohlson et leur lien avec la modélisation (Malkoun, 2007), sur le fonctionnement du savoir du point de vue de la modélisation (Seck, 2007) et sur les connaissances mises en jeu dans un film regardé par les élèves en terme de modélisation (Pekdağ, 2005).

La modélisation dans nos séances

« Quand un individu explique, décrit, interprète et prédit une situation matérielle, il est dans l'activité de modélisation » (Tiberghien, 2005). La référence à ce processus de modélisation permet

d'analyser à la fois le savoir enseigné en physique (ou en chimie) et le comportement relatif au savoir des élèves en classe de physique (ou de chimie) (Tiberghien et Vince, 2005). Nous adoptons le point de vue de Le Maréchal et nous le détaillons dans ce qui suit.

Selon Le Maréchal (1999), le fait que les théories et modèles en chimie reposent sur une description de la structure et des propriétés d'entités microscopiques (atomes, molécules, ions) qui ne sont pas observables, constitue une des spécificités de la chimie. Cette spécificité est une source de difficultés pour les élèves qui doivent se construire une représentation microscopique de la matière alors qu'ils n'ont accès qu'à des observations macroscopiques. Pour cela, il est approprié de distinguer les objets, les événements et les propriétés du monde perceptible (voir figure 12) séparément de ceux du monde non perceptible (voir figure 12), constitué par exemple d'objets, tels que les atomes et les molécules, mis en jeu dans des événements tels que les réactions chimiques... (Le Maréchal, 1999 ; Pekdağ & Le Maréchal, 2003a). Une théorie a pour fonction d'interpréter et surtout de prévoir les phénomènes à travers lesquels l'homme perçoit le monde (Robardet & Guillaud, 1997). Elle rassemble les lois et les faits en une unité cohérente le plus souvent traduite par un modèle (Astolfi & Develay, 1998). Les théories sont nécessaires dans l'enseignement de la chimie, et essentielles pour expliquer les concepts chimiques, les expériences, ou les propriétés chimiques (Tsapalis, 1997).



Figure 12 les 2 mondes perceptibles et non perceptibles selon Le Maréchal

Nous considérons qu'une des principales difficultés des élèves en chimie se situent dans l'articulation entre les connaissances perceptibles et non perceptibles (Pekdağ & Le Maréchal, 2001).

L'établissement d'un lien entre les différents mondes perceptibles et non perceptibles pose des difficultés spécifiques pour les apprenants car, bien qu'ils possèdent des connaissances développées au sein de chaque monde, ils peuvent difficilement établir des relations entre eux. Tiberghien et Megalakaki (1995) donnent deux raisons à ces difficultés :

- 1 - « La mise en relation nécessite de traiter simultanément plusieurs types de représentations : au moins l'une dans les termes des objets et événements et l'autre dans les termes des grandeurs physiques et de leurs relations ».
- 2 « La théorie consiste en un système explicatif du monde, et il est donc très coûteux de le modifier ou de l'acquiescer. Il est plus facile pour les élèves de modifier quelques aspects du modèle pour le rendre compatible

avec leurs interprétations de chaque situation expérimentale. Toutefois, l'acquisition de la théorie est cruciale et donne sa signification à l'articulation entre modèle et champ expérimental ».

Dans notre analyse, cette approche sera utilisée pour analyser le savoir mise en jeu dans les réponses des élèves se trouvant dans les comptes rendus ainsi que dans les productions verbales des binômes filmés lors du travail dans l'activité expérimentale. Cette analyse nous permettra de savoir comment les élèves établissent un lien entre les deux mondes perceptibles et non perceptibles.

Articulation des différents cadres théoriques

Une conversation peut donc être décomposée soit dans le cadre des échanges ternaires, soit dans celui des facettes de connaissances. La décomposition linguistique n'est pas « minimale », au sens où il existe des structures plus fine que l'intervention pour analyser une conversation. Par exemple le mot est une entité linguistique plus élémentaire qu'une intervention. En revanche, du point de vue de la connaissance, la facette est une entité élémentaire par définition.

Une intervention peut ou non contenir une facette de connaissance, voire plusieurs facettes. De même, il arrive, certes plus rarement, qu'une facette nécessite plus d'une intervention pour être entière (ElBilani, 2007). Intervention et facette correspondent donc à des niveaux correspondant à des durées comparables, de l'ordre d'une dizaine de seconde, mais sans qu'il y ait de relation systématique d'inclusion. L'analyse linguistique et l'analyse cognitive sont indépendantes.

L'originalité de notre cadre théorique est de servir de base pour concevoir lors des activités expérimentales d'analyser l'activité des élèves à travers la modélisation et de décrire l'activité et le comportement de l'enseignant lors de la séance de débriefing à travers l'analyse conversationnelle et l'analyse didactique. L'analyse conversationnelle va permettre de prendre en compte toute l'interaction entre l'enseignant et ses élèves d'une part et la réaction des élèves lors du débriefing d'autre part. Quand à elle, l'analyse didactique va prendre en compte la mise en jeu des connaissances objets de l'apprentissage par les enseignants et de les comparer entre eux.

Question de recherche générale de la thèse

Le débriefing est le moment de l'enseignement où l'enseignant est acteur de la situation et reprend la responsabilité de la manipulation du savoir après l'avoir dévolué aux élèves pendant l'activité expérimentale. Lors de ce moment, l'enseignant traite du même savoir et dans le même contexte que celui du travail (confié aux élève) qui est débriefé. Les questions

que nous nous posons concernent la description de l'activité de l'enseignant pendant la séance de débriefing et la manière dont il peut rendre le TP aussi profitable que possible.

1 - Quelles sont les pratiques enseignantes pendant le débriefing d'un point de vue conversationnel (description de la structure linguistique) et d'un point de vue didactique (description de la structure cognitive)? Cette question se divise en deux sous-questions :

1.1. Comment l'enseignant fonctionne durant la séance de débriefing lors de son interaction avec ses élèves du point de vue conversationnel (description de la structure linguistique)?

1.2. Comment le savoir est-il mis en jeu pendant le débriefing, moment où l'enseignant est très actif (description de la structure cognitive)?

1.3. Comment les élèves interviennent-ils lors de leur discussion en classe avec l'enseignant ?

2 - Nous allons chercher dans nos analyses à comparer les débriefings des enseignants sur un même thème. D'où les deux questions de recherche suivantes :

2.1. Les débriefings d'un même enseignant (traitant le même thème) dans deux demi-classes différentes sont ils identiques en termes de facettes?

2.2. Les débriefings de deux enseignants traitant d'un même thème sont ils identiques en termes de facettes ?

3 - La relation avec l'activité doit respecter *simultanément* deux conditions : les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage dans l'activité doivent se retrouver dans le débriefing, de même que le contexte dans lequel l'activité a été conçue pour la mise en œuvre de ces connaissances.

1.1. Quels types de débriefings pouvons-nous observer ? Quelle sont les différences entre ces types ?

1.2. La question de la forme que l'enseignant donne au débriefing est entière. En effet, comment l'enseignant peut-il structurer son débriefing tout en respectant simultanément les deux conditions énoncées ?

1.3. Quelles sont les limites d'un débriefing qui cessera d'être en relation avec le TP. Est-ce que la séance (après le TP) reste toujours un débriefing ?

Méthodologie

En se référant au cadre théorique développé précédemment, nous avons élaboré la méthodologie de recueil et d'analyse des données détaillée ci-dessous.

Méthodologie de prise de données

Plusieurs types de données ont été relevées afin d'être analysées et croisées. Pour le faire, nous avons enregistré des enseignants en classe (la majorité des enseignants enseignait en classe de seconde), et des élèves en classe de seconde.

Les données-enseignants

Les données ont résulté des films des débriefings avec la caméra pointant en permanence sur l'enseignant (voir figure 13). Le schéma de prise de données-enseignants dans les classes figure dans l'annexe 3 (document a). Cinq enseignants ont été sélectionnés, parce qu'ils appartiennent à notre groupe de travail (groupe INRP – SESAMES, 2006), que leurs lycées ne sont pas trop loin de notre unité de recherche et situés dans l'agglomération lyonnaise, et qu'ils utilisent certaines activités dont les textes étaient exactement ceux qui avaient été retenus.

Les vidéos de classe permettent de suivre ce que les enseignants faisaient en classe. Nous disposons de ce fait d'une variété intéressante de situations d'enseignement qui peuvent être étudiées séparément ou comparées. Les séquences d'enseignement vont être présentées dans le chapitre 2. Deux séquences d'enseignement celle de l'élément chimique et de la classification périodique vont être analysées en détail dans les chapitres 3 et 4.



Figure 13 : La caméra pointant en permanence sur l'enseignant dans les prises de données-enseignants.

Parmi les 36 débriefings filmés : 29 étaient en classe de seconde traitant les différentes parties et différentes séquences d'enseignement, 3 en classe de première traitant la partie couple acide base, titrage et réaction acido-basique et 4 en classe de Terminal traitant la séquence d'enseignement équilibre chimique. Seules 21 débriefings ont été analysés. La totalité en classe de seconde sauf un en classe de Terminal où nous avons trouvé une différence dans la forme de débriefing. Les débriefings de la classe de seconde ont été choisis pour l'analyse. La variété d'enseignants filmés (pour le même thème) en classe de seconde a permis les comparaisons. Les autres débriefings en première (1 enseignant) et en Terminal (1 enseignant) étaient observés sans faire l'analyse pour repérer d'autres formes de débriefings. C'était le cas pour un débriefing en classe de Terminal qui a été analysée.

	Seconde	Première	Terminal
Nb total de Débriefings	29	3	4
Nb total de Corrigé	25	3	3
Type corrigé analysé	16		
Type Fiche de synthèse analysé	3		
Type Cours analysé	1		1
Non Débriefing analysé	1		

Tableau 2 : Le tableau présente les différentes prises de données

Pour savoir comment les enseignants se positionnent par rapport à nos résultats, un questionnaire a été passé à 41 enseignants dont 27 enseignants au Liban et 14 enseignants en France. Les dix questions posées sont présentées dans le questionnaire (voir annexe 7 document 7a et 7b). Ce questionnaire, a été élaboré à partir d'un travail sur l'activité de l'enseignant en classe dans le cadre du débriefing. La passation de ce questionnaire a pour but de tester le fonctionnement des enseignants en les comparant avec nos résultats obtenus des analyses qualitatives avec les études de cas.

Les données-élèves

Afin de montrer l'originalité des séquences d'enseignement qui ont servi pour l'analyse des séances de débriefings, nous avons filmé des élèves en classe de seconde (voir figure 14), travaillant en autonomie lors des activités expérimentales correspondantes. Le schéma de prise de données-élèves dans les classes figure dans l'annexe 3 (document b).

Deux séquences d'enseignement ont été choisies. Deux binômes d'élèves de chaque classe ont été enregistrés et filmés à l'aide de caméras numériques et de micro-cravates pendant la séance de TP. Ceci afin de recueillir leurs productions orales et analyser finement leur activité (étude de cas).

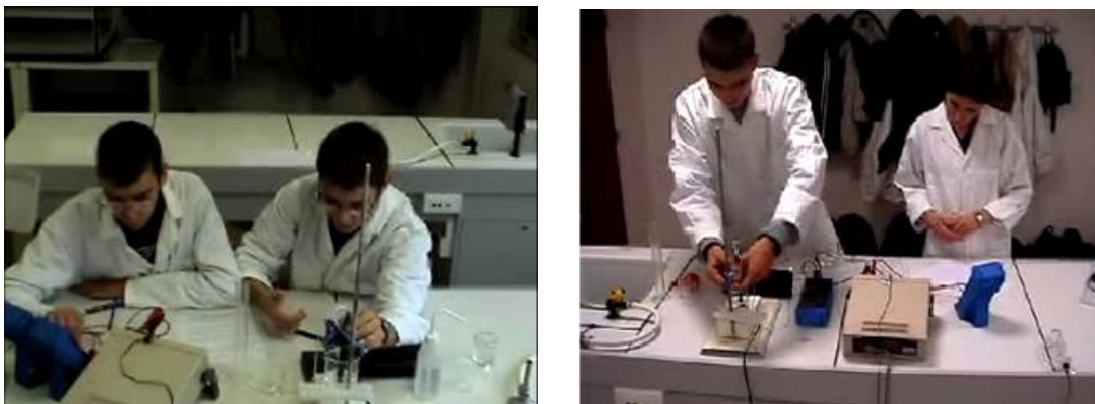


Figure 14 Les prises de données-élèves au cours de l'activité expérimentale.

Pour recueillir les productions écrites, il était demandé aux élèves de rédiger un seul compte-rendu pour deux, ceci afin de favoriser les interactions entre binômes. Tous les comptes-rendus des élèves des classes, qui font partie de nos données, ont été récupérés.

Discussions de groupe

Hebdomadairement, le groupe d'enseignants « SESAMES » (Séquences d'Enseignement Scientifique : Apprentissage par la Modélisation, l'Evaluation et la Simulation) qui est l'objet de la présente étude se réunit avec d'autres enseignants en présence des chercheurs responsables du présent travail. Le rôle de ces derniers, au sein de ce groupe, a consisté à animer la réflexion tant sur le plan de la chimie que sur celui des idées didactiques, en particulier en demandant aux enseignants d'explicitier leur choix pédagogiques avant et après l'enseignement.

Plusieurs enseignants et chercheurs élaborent des séquences d'enseignement dont les bases théoriques et pratiques s'inscrivent dans une mouvance constructiviste dans un souci de promouvoir chez l'élève un maximum de réflexion, d'initiative et de construction de savoir.

Au cours de ces séances de travail, il a été question de comparer les méthodes d'enseignement, et le contenu des débriefings d'activités. Cela a permis de disposer d'informations pertinentes, soit qui complètent les données prises en classe, soit qui permettent d'envisager d'autres méthodes d'enseignement dans certains cas. Ces discussions ne sont pas enregistrées, mais des notes sont prises.

Méthodologie d'analyse des données

En lien avec notre cadre théorique relatif à la description de l'activité de l'enseignant lors des séances de débriefings, nous avons élaboré notre méthodologie d'analyse des données décrites selon trois étapes essentielles :

Transcription des productions verbales

A partir de données vidéo filmées en classe que ça soit pour les binômes d'élèves ou pour les débriefings des enseignants, nous avons numérisé les bandes vidéo à l'aide du logiciel Windows Movie Maker, et nous avons effectué les transcriptions correspondantes à chaque film. Les transcriptions des productions verbales permettent d'identifier le savoir mis en jeu dans la séance de débriefing. Ces transcriptions sont présentées dans des tableaux qui montrent dans des colonnes successives : les tours de parole, les lettres qui désignent le nom de locuteur, les productions verbales, et d'autres commentaires comme le début ou la fin d'une question. Ces transcriptions sont présentées dans l'annexe 4 pour les élèves et l'annexe 5 pour les enseignants.

Analyse du questionnaire

A partir des questionnaires, nous avons repris les résultats à partir des fichiers SPSS et les avons traités, en particulier quelques croisements, selon nos analyses que nous présenterons dans un chapitre ultérieur.

La structure linguistique : Analyse conversationnelle

Nous avons choisi de découper les transcriptions des productions verbales en échanges ternaires suivant la définition donnée dans notre cadre théorique ci dessus. Les échanges ternaires ont été repérés. Les interventions d'initiation, puis de réaction et enfin d'évaluation ont été catégorisées. Le nombre d'échanges enchâssés correspond au nombre de dialogues qui se sont instaurés entre l'enseignant et un élève a été déterminé en convenant que, par exemple, IRABABE compte pour 1 (et non 2 ou 4) échange enchâssé.

La structure cognitive : Analyse didactique

Identification des facettes

Pour chaque activité, nous avons défini, à partir du programme officiel, une liste de connaissances qui devaient a priori être mises en jeu. L'analyse a consisté à détecter la mise en jeu de ces connaissances. Dans chaque transcription, nous avons cherché à identifier les connaissances mises en jeu par les locuteurs (enseignants et élèves) par facettes, en se basant

sur la notion de facette de Minstrell (1992). Les facettes correspondantes ont été regroupées de différentes façons pour faire apparaître certaines pratiques des enseignants.

La construction des facettes

A la différence de Minstrell et Galili, dans cette analyse en facettes, nous ne prenons pas en compte dans notre étude les pensées ou le fonctionnement cognitif des personnes mais nous nous centrons sur le discours (la transcription). Les productions verbales contenant les concepts sensibles sont relevés, une reconstruction de la phrase est faite.

Les facettes de connaissances ont été basées sur les concepts apparaissant, à chaque sous-partie du programme concernant les activités concernées. Les facettes correspondant à ces concepts ont été recherchées : dans les transcriptions des débriefings, et dans les documents distribués aux élèves lors de chaque activité.

Le passage de la verbalisation à la construction de la facette est extrêmement important. Comme la facette est le plus simple énoncé qui a du sens il y a donc la nécessité d'utiliser un verbe et au cas où il n'y a pas un verbe d'action nous avons introduit les verbes être ou avoir. Il y a eu élimination de tout ce qui ne change pas le sens. Un minimum de reconstruction ou de restructuration de ce qui est dit a été effectué lors de l'analyse. Un minimum de modifications entre les mots produits par un locuteur pour exprimer une idée et la forme que le chercheur donne à la facette correspondante, pour autant que l'idée scientifique soit conservée, doivent être autorisées. En effet, refuser de changer les mots d'un locuteur produirait une liste infinie de facettes, et trop de changements reviendraient à les regrouper trop largement, ne permettant plus de mettre le doigt sur des différences fines. Une juste appréciation s'impose. Après la construction de la facette un code est donné afin de la classer dans une liste de facettes de connaissances. Ci-dessous un exemple de reconstruction d'une facette. La phrase dite par l'enseignant « pour que l'atome, l'élément soit stable il y a plusieurs solutions soit il peut devenir un ion d'accord c'est ce qu'on a vu hier soit il peut s'associer pour former des molécules » *Les différentes facettes mises en jeu dans les productions verbales de l'enseignant sont les suivantes :*

- *L'atome / l'élément peut être stable*
- *L'atome peut devenir un ion*
- *L'atome peut s'associer pour former des molécules*

Nous essayons autant que possible d'avoir des facettes générales qui ne relèvent pas de cas particuliers. Par exemple, la production verbale peut être "dans une transformation chimique, l'élément chimique cuivre s'est conservé" ; dans notre formulation nous ne prenons pas en compte le cas particulier du cuivre mais nous adoptons la formulation générale "dans une transformation chimique, l'élément chimique se conserve" afin de ne pas se retrouver avec une infinité de facettes suivant les champs d'application. Nous cherchons à regrouper

plusieurs cas particuliers dans un cas général, donc on généralise la situation. Les facettes sont uniquement générales.

Toutes les facettes étaient correctes dans les productions verbales de l'enseignant. Tandis que les facettes des élèves n'étaient pas toutes correctes, d'autre part les facettes correctes et incorrectes sont nécessaires pour définir l'état de la connaissance d'un locuteur que ça soit l'enseignant ou l'élève.

Les relations entre les concepts

Un regroupement par concept sensible a été effectué, avec d'une part les facettes où un seul concept intervient, et d'autre part par groupe de concepts en relation. Donc il y aura les facettes ne contenant qu'un seul concept, celles qui en contiennent deux, puis trois, etc. Les facettes contenant plus d'un concept font apparaître les relations que les enseignants établissent entre les concepts, ce qui est un indicateur très intéressant (Tiberghien, 1994-a). La recherche des facettes a constitué à repérer tout ce qui se disait sur les concepts sensibles retenus pour l'analyse. Les facettes ont été regroupées par des *catégories* selon leur constitution :

- ✗ d'un *concept* quand un seul concept était en jeu, par exemple «*deux électrons sont représentés par un trait* » est une facette concernant le concept *électrons* seul ;
- ✗ ou de *groupe de concepts en relation*, comme par exemple « l'élément chimique se conserve » qui est une facette des deux concepts sensibles en relation : élément chimique et *la conservation*.

La complexité d'une facette de connaissance

Un regroupement par concept sensible a été effectué, avec d'une part les facettes où un seul concept intervient, et d'autre part par groupe de concepts en relation. Nous considérons que les facettes correspondant aux concepts sensibles sont plus ou moins complexes. Nous rappelons que nous limitons la mesure de cette complexité au nombre de tels concepts qui apparaissent en relation. Par exemple, si les concepts sensibles sont : atome, molécules, règle du duet et règle de l'octet, la facette *Un atome peut être stable*, qui ne met en jeu qu'un concept sensible (celui d'atome) et qui aborde sa stabilité, est moins complexe que la facette *Dans les molécules, H vérifie la règle du duet et les autres atomes vérifient la règle de l'octet* qui met en relation quatre concepts sensibles (molécule, atome et les deux règles de stabilité). Nous avons choisi de comptabiliser les concepts implicites présents dans les facettes. Les concepts implicites sont soit les concepts symboliques comme par exemple K2 pour signifier qu'il y a 2 électrons sur la couche K, soit les concepts répétées quand le concept se trouve plus qu'une fois dans la même facette. Par exemple : La règle de duet concerne uniquement K2, ici il y a qu'un seul concept sensible règle de duet et couche et électron sont deux concepts implicites. Par contre dans la facette « les 2 électrons de la

liaison entre les 2 atomes comptent pour chaque atome ». Le concept d'atome est répété deux fois. Par ailleurs concernant la complexité nous proposons un autre exemple *les **atomes** qui n'ont pas la **structure en duet** ou en **octet** captent, cèdent ou mettent en commun des **électrons** pour l'acquérir* a une complexité de 6 et non de 4 parce que *captent, cèdent ou mettent en commun des électrons* est l'équivalent de *captent des électrons, cèdent des électrons, ou mettent en commun des électrons*. Prendre en compte la répétition implicite du concept sensible *électrons* rétablit la différence de complexité entre cette facette et, par exemple : *les **atomes** qui n'ont pas la **structure en duet** ou en **octet** captent des **électrons** pour l'acquérir*.

Partie A Les séquences d'enseignement

Dans cette première partie de la thèse, nous allons décrire les séquences d'enseignement qui ont servi pour la description de l'activité de l'enseignant lors des séances de débriefings. Une étude détaillée et analysée sera faite pour deux des activités expérimentales dans les chapitres 3 et 4.

Chapitre 2 Présentation des séquences d'enseignement

Introduction

Nous venons de voir dans le chapitre 1, que depuis août 1999, les activités expérimentales ont été mises au centre de l'enseignement. Les nouvelles connaissances ont en premier lieu à être construites par des élèves travaillant, dans un laboratoire, en binômes au cours d'activités expérimentales qui les guident dans leur démarche. Nous rappelons que l'enseignement scientifique est basé sur une approche voisine de la démarche d'investigation, laquelle peut se décomposer en sept étapes se traduisant par trois phases :

La première (A) de préparation par l'enseignant (choix de la situation problème) hors classe,

La seconde (B) L'« activité expérimentale » consistant en appropriation du problème; formulation d'hypothèses ; et investigation ou résolution du problème conduite par les élèves ;

La troisième (C), consistant en un échange argumenté autour des propositions élaborées ; acquisition et structuration des connaissances ; et opérationnalisation des connaissances ;

Dans la première partie de la thèse, nous allons décrire ce qui se passe dans la seconde étape, « l'activité expérimentale ». Cette description sera faite à travers la présentation des séquences d'enseignement qui ont servi pour les séances de débriefings. Une étude plus approfondie et détaillée sera évoquée pour deux des activités expérimentales dans les chapitres 3 et 4. Dans la seconde partie de la thèse, nous étudierons en détail ce qui se passe dans la phase C.

Les données relatives à l'enregistrement

Nous avons étudié les débriefings de sept séquences d'enseignement (Annexe 1) dont six étaient en classe de seconde et une en classe de terminale : une sur l'enseignement de l'élément chimique (*EC*), une sur l'enseignement du modèle de Lewis de la liaison chimique (*ML*), une sur la classification périodique (*CP*), une sur la quantité de matière (*QM*), une sur la concentration (*CS*), une sur l'extraction et la chromatographie (*CC*), une sur la transformation chimique (*TC*), une sur l'avancement chimique (*AC*), et enfin une en classe de terminale sur le taux d'avancement final ou la totalité de la réaction (*TA*). La plupart sont en référence au programme de Seconde de août 1999 dont trois étaient les plus filmées

(tableau 2). Celui-ci justifie les concepts clés qui serviront à notre analyse en termes de facettes. Leur articulation avec la séquence d'enseignement est décrite pour mettre en évidence certaines de leurs différences.

Les connaissances du programme		
L'élément chimique	Le modèle de Lewis	La classification périodique
Définition des isotopes	Un modèle du cortège électronique	Classification périodique des <i>éléments</i> .
Définition des ions monoatomiques	Répartition des <i>électrons</i> en différentes <i>couches</i> , appelées K, L, M.	La démarche de Mendeleïev pour établir sa classification ; son génie, ses erreurs.
Caractérisation de l' <i>élément chimique</i> par son <i>numéro atomique</i> et son <i>symbole</i>	Répartition des <i>électrons</i> pour les <i>éléments</i> de <i>Z</i> compris entre 1 et 18.	Les critères actuels de la classification : <i>Z</i> les <i>électrons</i> de la <i>couche externe</i> .
Conservation de l' <i>élément chimique</i> au cours des <i>transformations chimiques</i>	Les <i>règles du "duet"</i> et de l' <i>octet</i>	Utilisation de la classification périodique.
	a) Enoncé des <i>règles de stabilité</i> des <i>atomes</i> de gaz nobles (ou "rares"), inertie chimique.	<i>Familles</i> chimiques.
	b) Application aux <i>ions</i> mono-atomiques stables.	Formules des <i>molécules</i> usuelles et <i>charges</i> des <i>ions</i> monoatomiques ; généralisation <i>éléments</i> de <i>Z</i> plus élevés.
	c) Application aux <i>molécules</i> à l'aide du modèle de Lewis de la <i>liaison covalente</i> .	
	Représentation de Lewis de quelques <i>molécules</i> .	
	Dénombrement des <i>doublets</i> d' <i>électrons liants</i> et <i>non liants</i> .	
	Notion d'isomérisie.	

Tableau 2 - Les textes du programme relatifs à chaque activité et les concepts (en *italique*) dont on recherche les facettes.

Cinq enseignants, appelés ici H, M, C, et D ont acceptés d'être filmés. Le tableau 3 rassemble les différentes données relatives à ces enregistrements. Certaines activités d'enseignements étaient en demi-classes, notées 1 et 2, et d'autres en classe entière (tableau 3).

Activité	Enseignant	Binôme	Type d'activité	Durée	Organisation de la classe	Analyse	Chapitre
Élément chimique	H		Corrigé 1 2005	15 min 54s	Demi-classe	IRE / facette	chapitre 4
	H		Corrigé 2 2005	12 min 18s	Demi-classe	IRE / facette	chapitre 4
	H	2 binômes + les CR des autres (98CR)	Corrigé 1 2006	15min 37s	Demi-classe	facette	chapitre 4
	H		Corrigé 2 2006	12min 46s	Demi-classe	facette	chapitre 4
	M		Corrigé 1	11 min 40s	Demi-classe	IRE / facette	chapitre 4 et 5
	M		Corrigé 2	10 min 00 s	Demi-classe	IRE / facette	chapitre 4 et 5
	D		Corrigé	44min 49s	Classe entière	IRE / facette	chapitre 4 et 5
Lewis	H		Préactivation 1	6 min 50s	Demi-classe	IRE / facette	chapitre 5
	H		Corrigé 1	10 min 05 s	Demi-classe	IRE / facette	chapitre 5
	H		Préactivation 2	6 min 53 s	Demi-classe	facette	chapitre 5
	H		Corrigé 2	12 min 37 s	Classe entière	facette	chapitre 5
	M		Corrigé 1	9 min 04 s	Demi-classe	IRE / facette	chapitre 5
	M		Corrigé 2	7 min 01 s	Demi-classe	IRE / facette	chapitre 5
	C		Fiche de synthèse	47min + 25min	Classe entière	IRE / facette + représentation	chapitre 6
Classification périodique	H	137 CR + 2 binômes	Corrigé 05	53 min 35s	Classe entière	IRE / facette	chapitre 3 et 5
	M		Corrigé	47 min 00 s	Classe entière	IRE / facette	chapitre 5
	D		Corrigé	42 min 21s	Classe entière	IRE / facette	chapitre 5
	C		Cours	44min 35s	Classe entière	IRE / facette +structure de cours	chapitre 7
Initiation à la mol et détermination de la Qm	M		Synthèse	40min 35s	Classe entière	IRE / facette + représentation	chapitre 6
	M		Synthèse	43min 42s	Classe entière	IRE / facette / représentation	chapitre 6
Transformation	M		Synthèse	39min 30s	Classe entière	IRE / facette + représentation	chapitre 6
Avancement	M		Corrigé	25min 02s	Classe entière	Facette +introduction de concept	chapitre 8
	H		Non débriefing	35min	Classe entière	Facette +introduction de concept	chapitre 8
Taux d'Avancement final	H		Cours	1h 40min	Classe entière	IRE / facette +structure de cours	chapitre 7

Tableau 3 - Les différentes activités filmées et leurs caractéristiques. Le type d'activité est spécifié 1 ou 2 lorsqu'il s'agit d'une demi-classe, et 2005/6 indique qu'un même enseignement a été observé deux ans de suite.

Les séquences d'enseignement

La science est ainsi construite que chaque concept scientifique qui sert à sa description se retrouve lié à une variété de situations expérimentales et théoriques (Le maréchal et al. 2007). Celles-ci sont bien en relation dans la tête des enseignants, mais les élèves les découvrent de façon segmentée. Pour aider ces derniers à s'y retrouver, il faut de temps en temps impliquer ces concepts dans une réflexion aussi globale que possible qui se manifeste par un texte de l'activité d'une séquence d'enseignement.

La séquence EC décrite par Khanfour-Armalé et al. (2008), commence par une activité d'une heure, et sert d'introduction des notions de cette partie (annexe 1 document 1a). Celle-ci est expérimentale et consiste à faire réfléchir les élèves sur ce qui se conserve et ce qui ne se conserve pas lors de quelques réactions chimiques simples. Elle est suivie, dans la même séance, d'un premier corrigé (filmé) et d'une deuxième activité. L'année suivante, H a été à nouveau filmé pendant les deux corrigés. Cette séquence d'enseignement sera décrite en détail ultérieurement dans le chapitre 3.

La séquence ML diffère pour H, M, et C. H et M appartenant aux groupe SESAMES utilisent la même activité (Annexe 1 document 1b). Tandis que C collègue du même lycée que H mais ne faisant pas partie du groupe utilise une activité différente (Annexe 1 document 1c).

H commence par la distribution (à la fin de la séquence précédente) du texte d'un modèle qui contient les définitions d'un certain nombre de concepts sensibles (doublet liant, doublet non liant, liaison covalente, etc.). Il pose en même temps quatre questions (Annexe 1 document 1b) susceptibles de favoriser la lecture du texte assez complexe que constitue le modèle. La séance suivante, il commence par corriger les quatre questions, ce que nous appelons préactivation du modèle (filmé), et a enchaîné sur l'activité ce que nous appelons débriefing.

Tandis que les élèves de C commencent par les deux activités (documentaires) de leur livre. C corrige dans la séance suivante ses deux activités et enchainent de la même façon dans la séance suivante et distribue à la fin une fiche de synthèse.

A la différence de H, M a commencé directement par l'activité en distribuant le modèle, et n'a pas posé de question. Pour H comme pour M, le corrigé de cette activité a lieu dans la foulée (filmé). Cette activité est à nouveau introductrice des concepts sensibles mais, à la différence des autres séquences étudiées dans ce travail, elle met en jeu le texte d'un modèle, de compréhension délicate et introduisant de nombreuses nouvelles notions. Dans ce qui suit nous allons détailler les deux séquences d'enseignement SESAMES (H et M) et non-SESAMES (C).

L'activité (SESAMES), non expérimentale, repose sur l'utilisation par l'élève d'un texte (« un modèle ») présentant les énoncés de la règle de l'octet et les énoncés de base du modèle de Lewis. Quatre parties forment cette activité. Dans la première, un questionnaire précis sur la molécule HCl oblige l'élève à lire, comprendre et utiliser les définitions proposées (liaison covalente, doublets liant et non-liant,...) pour dessiner une représentation de Lewis d'une molécule.

Ensuite, dans la deuxième activité un travail sur des représentations juste et fausses de la molécule de diazote permet à l'élève d'appliquer finement la règle de l'octet, ce qui lui permettra de déterminer la représentation correcte aux yeux de la chimie.

Enfin l'élève utilise un tableau récapitulatif qui rappelle que chaque atome doit respecter la règle de l'octet et ne peut former, au niveau de la classe de seconde, qu'un nombre fixe de liaisons covalentes (4 pour l'atome de carbone, 3 pour l'azote,...).

Bien que simple, le modèle de Lewis met implicitement en jeu de nombreuses connaissances. Cette façon requiert que l'élève apprenne d'abord à construire les représentations de Lewis en utilisant les notions précédemment apprises (règle de l'octet, nombre d'électrons de valence d'un atome, définition d'une liaison covalente), et non pas les règles pratiques. L'usage des règles pratiques vient dans un second temps et s'impose par sa commodité. Les questions posées permettent de montrer à l'élève qu'il va devoir faire des allers et retours entre le texte du modèle et les questions (question 1a). Ils permettent ainsi une prise de conscience essentielle de l'existence de deux types de doublets d'électrons (question 1b), de la présence des électrons mis en jeu dans la formation d'une molécule sur la couche périphérique des atomes la constituant (question 1c), et de réfléchir sur les types d'électrons et les types de doublets (question 1d).

La séquence non-SESAMES formée de quatre activités réparties par l'enseignant sur deux TP. Chaque activité est formée d'un ou de plusieurs documents. Chaque document est formé par la suite d'une partie modèle et d'une autre partie questions. La séquence d'enseignement consiste en deux TP (deux activités du livre chacun) d'une heure et demi chacun, décalé par un débriefing corrigé et à la fin de la deuxième activité d'une distribution de la fiche de synthèse. Les activités ont été accompagnées d'un modèle intégré sous forme de texte dans les documents, juste avant les questions.

La première activité comporte deux documents l'un sur les gaz nobles et l'autre sur les ions monoatomiques. Les réponses aux questions posées dans ces deux documents permettent d'expliquer pourquoi certains atomes ont tendance à donner des ions ou des molécules alors que d'autres se transforment en ions monoatomiques chimiquement stables.

La deuxième activité comporte quatre documents sur le dihydrogène, le chlorure d'hydrogène, l'eau et le dioxygène. Les différentes questions permettent de montrer aux

élèves pourquoi certaines molécules existent et d'autres non, pourquoi par exemple H_2O existe alors que HO et H_4O n'existent pas.

La troisième activité formée d'un document sur la représentation de Lewis d'une molécule (NH_3). Elle montre comment représenter une molécule en faisant apparaître les liaisons entre ses atomes et la structure électronique externe.

La quatrième activité comporte deux documents sur les différentes formules d'une molécule à partir de la représentation de Lewis et à partir de la formule développée. La notion d'isomérisation est évoquée dans ces deux documents.

La séquence CP, du groupe SESAMES décrite par Le Maréchal et coll. (2007) utilisée par les enseignants H, M et D, consiste en une activité d'une heure et demie (voir annexe 1 document 1d) et d'un débriefing lors de la séance suivante (filmé). Cette fois, l'activité intervient après le cours correspondant. Les nouvelles connaissances découlent de l'utilisation de la classification : notions de colonne (ou famille chimique), de ligne (ou période), de relation avec la réactivité, et la charge des ions. Cette séquence d'enseignement sera décrite en détail ultérieurement dans le chapitre 4.

L'enseignant C utilise une autre activité expérimentale qui consiste en une activité d'une heure et demie (voir annexe 1 document 1e) et d'un débriefing filmé lors de la séance suivante. La réflexion sur la notion de famille dans la séquence d'enseignement CP consiste de présenter dans un premier temps trois éléments de la famille des halogènes (le chlore Cl , le brome Br , et l'iode I), la molécule de leurs dihalogènes, ainsi que la molécule de leurs ions halogénures afin d'écrire la formule de ces différentes formes.

Dans un second temps une propriété des dihalogénures (la solubilité) et différentes réactions avec les ions halogénures sont évoqués : la réaction des ions permanganate MnO_4^- , des ions argent Ag^+ , avec les ions halogénures, des ions plomb Pb^{2+} avec les ions halogénures. Dans cette partie ajuster la stœchiométrie des équations est demandé aux élèves, aidé avec une phrase telle que, par exemple « l'ion chlorure réagit avec l'ion argent pour former le chlorure d'argent ». Pour résumer il s'agit d'une activité expérimentale où les élèves font des observations et ils en déduisent qu'un certain nombre d'éléments sont impliqués dans des réactions similaires. L'enseignant distribue un corrigé dans la séance qui suit avant de commencer son débriefing (filmé).

La séquence Qm (voir annexe 1 document 1 f) contient deux activités d'une heure et demi chacune, et sert d'initiation à la mole et à la détermination de la quantité de matière. Celles-ci consistent à faire réfléchir les élèves sur la notion de quantité dans la vie quotidienne. Chaque activité est suivie, d'un corrigé (filmé) et à la fin de la deuxième activité d'une distribution de la fiche de synthèse qui est à lire et à compléter par les élèves chez eux.

L'idée de L'activité sur l'initiation à la mol est de faire compter des petits objets (ici des grains de riz et des lentilles) et de faire sentir aux élèves qu'au-delà d'un comptage manuel objet par objet, il est possible d'arriver à un décompte plus rapide soit en comptant par paquet, soit par pesée. Le passage au niveau microscopique reprend l'idée du comptage par paquet pour introduire la notion de mole et celle de la pesée pour introduire la notion de masse molaire. Ce qui marque l'originalité de notre présentation, et ce qui coûte en temps aux élèves, c'est la volonté de créer les liens entre:

- ✗ compter des lentilles et compter des atomes,
- ✗ peser un tas de lentilles et peser un " tas " d'atome,
- ✗ « peser, c'est compter », que ce soit des lentilles ou des atomes.

L'objet est identifié et sa masse déterminée, de sorte que les élèves prennent conscience que les atomes sont également des entités qui possèdent une masse et que c'est cette masse qui permet, grâce au nombre d'Avogadro, de faire émerger la notion de masse molaire.

L'activité a été accompagnée d'un modèle intégré sous forme de 4 tableaux dans la fiche de TP juste avant les exemples correspondants.

L'activité détermination de la quantité de matière (annexe 1 document 1f) regroupe trois parties : cas des solides, liquides et gaz. La première partie traitant de la masse molaire et du volume par déplacement d'eau des solides pour le soufre et le fer. La deuxième de la masse molaire et du volume molaire de celle de l'eau et de l'éthanol. La troisième partie traitant de la constance du volume molaire à travers la comparaison de la masse molaire et volume molaire de plusieurs espèces chimiques solide liquide et gazeux. De même les propriétés des gaz sont ainsi évoquées.

La séance de CS (annexe 1 document 1g) propose de faire comprendre aux élèves la notion de concentration, d'abord en travaillant sur la quantité de matière, puis en faisant intervenir le volume. En effet, la principale difficulté des élèves, que l'on retrouve aussi en 1^{ère} S, est de savoir quelles sont les entités présentes dans une solution et quelle est leur quantité. Le problème important du volume ne vient qu'après pour une majorité d'élèves.

Pour aborder ces difficultés, nous proposons d'utiliser une représentation de la matière à l'aide de symboles (ronds, carrés, ...). Le but est d'ancrer chez les élèves une image mentale pour interpréter ce qu'il y a dans un liquide souvent transparent. Trois parties se trouvent dans ce TP.

La première partie permet à l'élève d'explicitier un lien entre une observation (macroscopique) et une interprétation (microscopique). Elle prépare l'élève à l'utilisation du modèle microscopique qui sera fournie à la question suivante. Le travail est sur l'aspect « qualitatif », mais aussi sur l'aspect quantitatif car le nombre de ronds dans les représentations n'est pas anodin.

Dans la deuxième partie, les élèves doivent comprendre qu'un ajout d'eau ne change pas la quantité de matière de soluté. Un travail sur les représentations permet à l'élève de donner du sens à la dissolution et à la dilution.

La troisième partie permet d'éviter de ramener la définition de la concentration à une relation mathématique. Elle permet d'introduire le facteur de dilution.

La séquence de CC (annexe 1 document 1k) consiste en deux activités expérimentales l'une sur l'extraction et l'autre sur la séparation des espèces chimiques. La première activité vise à donner, conformément au programme, les bases de l'extraction liquide-liquide. Il a également pour but de diminuer l'arbitraire chez les élèves, en travaillant sur le principe de la chromatographie. En effet, il nous semble qu'enseigner seulement la technique de la chromatographie, c'est faire utiliser à l'élève une « boîte noire ». L'élève n'a alors pas les moyens de comprendre pourquoi on choisit tel liquide ou pourquoi on fait telle opération. Ce type d'incompréhension peut, à terme, engendrer un désintérêt.

La deuxième activité a pour but de découvrir une méthode pour séparer et identifier les espèces chimiques présentes dans un mélange (la chromatographie sur couche mince), de réaliser une chromatographie sur couche mince (C.C.M) et d'utiliser un vocabulaire adapté.

Deux séquences d'enseignement publiées par Le Maréchal et al. (2008) sur la réaction chimique sont proposées.

La première TC (annexe 1 document 1h) est un travail expérimental qui prend en charge la modélisation de la transformation chimique d'un point de vue général. Les notions d'états initial et final, de réactif et produit sont dégagées dans un modèle qui accompagne la fiche de TP. Elle dure 1h30. Cette activité expérimentale a comme objectif de fournir une modélisation macroscopique et qualitative de la réaction chimique. Elle est suivie d'un débriefing corrigé et à la fin du corrigé, une distribution de la fiche de synthèse qui a été lue par les élèves et retravaillée avec l'enseignant.

Le texte du modèle comprend un certain nombre d'items auxquels les élèves ne donnent du sens que lentement car les notions qu'il définit sont abstraites. Afin que l'élève puisse se les approprier, un questionnement autour d'une situation expérimentale est proposé, en s'arrangeant pour que le modèle soit impliqué dans la réflexion que l'élève doit avoir.

Avec le modèle, un travail est proposé aux élèves. Il propose un mode opératoire expérimental et une réflexion qui force les élèves à réfléchir au modèle au travers des termes du modèle. De cette façon, l'élève donne du sens au modèle et il apprend à observer l'expérience avec une approche scientifique, et non naïve. Le texte commence par donner des informations sur deux produits de la vie quotidienne, le bicarbonate de sodium et le vinaigre.

La solution d'acide éthanoïque presque pur est un objet du monde perceptible, alors qu'une solution du corps pur 'acide éthanoïque' est un objet théorique (non perceptible). Cette distinction est certainement trop subtile pour que les élèves y prêtent attention. En revanche, modéliser l'objet perceptible 'vinaigre' par une solution d'acide éthanoïque est une activité de modélisation plus franche, même aux yeux des élèves.

Nous constatons qu'il n'est nullement demandé à l'élève d'écrire une équation chimique. Le travail se limite à comprendre que dans les produits de la vie quotidienne il y a des espèces chimiques, que certains mélanges conduisent à la transformation, et que l'étude de cette transformation requière une modélisation. Celle-ci consiste à décrire le système chimique, son état initial et son état final. Plus tard dans la séquence d'enseignement, l'intervention de l'équation chimique et du bilan de matière sera considérée.

Pour finir, il est demandé aux élèves de remplir un tableau qui rassemble un certain nombre d'informations liées à la réflexion qui est conduite pendant le travail expérimental. Il s'agit que les élèves rassemblent des informations importantes, mais qui ont été abordées de façon dispersées.

La seconde AC est une simulation (annexe 1 document 1i) qui dure 1h, au cours de laquelle une animation microscopique permet à l'élève de se faire une idée de la façon dont se déroule une réaction, et d'introduire la notion d'avancement. L'activité vise à fournir une représentation microscopique dynamique d'une réaction chimique. Peuvent en être déduit : une introduction à la notion de choc moléculaire, de notion d'avancement, de représentations variées du suivi d'une réaction chimique. (Le Maréchal et *al.*, sous presse)

Le simulateur utilisé et la tâche qui l'accompagne ont été déjà décrits au chapitre 3 de la thèse de Rania ElBilani (2007). Nous rappelons que le simulateur fait partie de l'ensemble de réalisations du projet Micromega® (Le Maréchal & Robinault, 2006). Un de ses objectifs est de répondre au souhait de la partie du programme officiel de 2002 de donner une interprétation au niveau microscopique de la réaction chimique.

La séquence d'enseignement proposée constitue une approche originale de l'introduction de la notion de réaction chimique. Différents aspects y sont abordés : la modélisation, la représentation microscopique à l'aide d'un simulateur et le bilan de matière à l'aide du tableau d'avancement. Celui-ci constitue un outil de type algorithmique, ce qui pourrait lui être reproché, mais qui est bien cadré dans un ensemble où les aspects conceptuels n'ont pas été négligés.

Dans le chapitre 3 de la thèse de Rania El Bilani cette tâche a été décrite en détail puisqu'elle s'est servie pour étudier l'apprentissage des élèves de la classe de seconde de la notion de l'avancement de réaction sur le simulateur. Mais dans ce qui suit nous allons décrire les objectifs des différentes parties de cette tâche dont l'idée implantée était de faire précéder

l'établissement du bilan entre l'avant et l'après réaction au moyen d'un raisonnement macroscopique, par un processus du pendant la réaction au moyen d'un modèle microscopique. (El Bilani 2007, Le Maréchal et al. 2008).

Cette tâche est organisée suivant trois grandes parties. La première partie permet de laisser un peu de temps aux élèves pour observer l'animation sans que de véritables enjeux conceptuels délicats soient abordés. En seconde partie, la notion de tableau d'avancement est introduite. Pour finir, la troisième partie présente un exercice permettant de réinvestir les concepts acquis sans le monde de simulation.

La première partie permet la familiarisation de l'élève avec le simulateur. Elle permet également de faire prendre conscience que, dans certaines conditions, des particules changent de couleur. Ce qui est essentiel pour l'introduction de la notion d'avancement. Elle fait réfléchir sur les différents chocs qui doivent être considérés : efficace (entre les réactifs), et inefficace dans toutes les autres situations (entre produit, entre réactif et produit, entre particule et paroi). Bien comprendre ce qu'est un choc efficace est essentiel, puisque ce sont ceux-là qui sont responsables de l'avancement de la réaction.

Dans la deuxième partie de la tâche, les élèves sont amenés à prévoir l'évolution d'un système constitué d'un certain nombre de particules A et B, après 1 puis 5 chocs efficaces. Ils parviennent à imaginer que les réactifs disparaissent et que les produits apparaissent en même quantité. Le principe de l'avancement est en jeu dès le premier choc efficace. Nous notons que dans cette partie, il n'était pas question de quantité de matière (en mole), mais de nombre entiers et de petites particules. La notion d'avancement est donc introduite, au moyen du monde simulé, sans faire usage de notions connues pour être délicates à ce stade de l'enseignement.

Dans la troisième partie de la tâche, un tableau d'avancement habituel, avec des quantités de matières exprimées en mole, et avec des nombres non-entiers (par exemple 8.10^{-2}), est donné sur le format de celui qui a été introduit précédemment avec la simulation. Il est partiellement pré-rempli pour faire fonctionner les connaissances des élèves sur un exemple de quantité de matières. Le pré-remplissage requiert que l'élève donne du sens à des informations qu'il devra être capable de produire dans un tableau d'avancement.

C'est donc une véritable formation scientifique qui a été proposée, et non un outil de résolution de problèmes supplémentaire sur le sujet. Toute une série de connaissances dans le monde non perceptible sont remplacées par quelques images dans un monde simulé, ce qui conduit à une économie cognitive favorisant l'apprentissage.

La séquence TA commence par une activité d'une heure et demie. Celle-ci est expérimentale et consiste à faire réfléchir les élèves sur la totalité ou non de la réaction chimique. Elle est suivie, dans une séance ultérieure, d'un débriefing. Les nouvelles

connaissances découlent de l'utilisation du pH et de la concentration : l'avancement maximal, l'avancement final, le taux d'avancement final, influence de la dilution et de la nature de l'acide sur le taux d'avancement.

Depuis le début de leur étude en classe de Seconde, toutes les réactions sont totales, c'est-à-dire qu'en fin de réaction, l'un au moins des réactifs a totalement disparu. Est-ce toujours le cas ? La réponse à cette question est l'enjeu de l'activité expérimentale TA. L'introduction du taux d'avancement se base sur une activité expérimentale qui consiste à mesurer le pH, en utilisant le pH-mètre, de deux solutions celle du chlorure d'hydrogène et de l'acide éthanóïque, en déduire les concentrations en ions oxonium H_3O^+ des deux solutions et puis écrire l'équation, construire le tableau d'avancement pour en comparer l'avancement maximal et l'avancement final. Dans un second temps, le taux d'avancement final est défini, les valeurs minimales et maximales sont cherchées, ainsi que l'influence de la dilution (calcul de τ pour des solutions d'acide éthanóïque de concentrations différentes) et de la nature de l'acide sur taux (calcul de taux pour deux solutions d'acide éthanóïque et d'acide chloroéthanóïque). L'originalité de cette activité est de servir d'introduction des notions de cette partie et concerne sa mise en œuvre de tous les concepts et démarches se trouvant dans le curriculum. Elle est suivie, dans une séance ultérieure, d'un débriefing qui sera l'objet d'analyse dans ce chapitre

La plupart des textes des activités ont été élaborés par un groupe d'enseignants pour mettre les élèves dans une large situation d'autonomie, modifiés pendant quelques années pour palier les difficultés qui étaient constatées en classe par l'enseignant ou par l'analyse des vidéos d'élèves. Ces textes sont arrivés à un état stable depuis plusieurs années. Ceux de *EC*, *CP TS*, *AC* et *Qm* ont été soumis respectivement pour publication (Khanfour-Armalé et coll., 2008 ; Le Maréchal et coll, 2007, Le Maréchal et al., sous presse, Khanfour-Armalé et coll., soumis). La stabilité d'un texte d'activité ne signifie pas qu'il soit simplement transférable à d'autres collègues, mais qu'il a atteint un niveau acceptable de qualité au sein de la communauté d'enseignants qui l'a élaboré (Buty et al. 2004).

Conclusion

Toute une réflexion a été faite et les difficultés des élèves ont été prises en compte pour arriver à l'élaboration des séquences d'enseignement décrites ci dessous. Un travail sur les représentations, le modèle, le lien avec la vie quotidienne, la modélisation etc. se trouve dans ces différentes séquences. Ce qui justifie leur originalité et leur choix pour les études des débriefings.

Une étude plus détaillée sera évoquée pour deux de ces séquences dans les chapitres 3 et 4. La présentation de ces séquences ainsi que l'analyse concernée montrent leur intérêt. Les tenants et les aboutissants des deux textes de l'activité et leurs mises en œuvre seront décrits.

Dans le chapitre 3, nous présentons l'activité expérimentale permettant l'utilisation d'une analogie pour construire le concept d'élément chimique. Sur la base de la propriété de conservation, propriété caractérisant la catégorie à laquelle l'élève doit donner du sens, la séquence innovante proposée s'appuie sur l'analogie fournie pour mettre les élèves face à une contradiction due à la polysémie de terme *cuivre*. Celui-ci signifie pour eux à la fois *métal cuivre* et *élément chimique cuivre*. La façon dont les élèves lèvent la contradiction révèle un point de vue original sur la réaction chimique. L'analyse de l'approche de trois enseignants, qui utilisent la contradiction et l'analogie, montre l'intérêt de la séquence mais aussi sa difficulté.

Dans le chapitre 4, nous étudions une séquence d'enseignement sur la classification périodique permettant l'utilisation du raisonnement causal. Pour ce faire, il a fallu mettre l'élève en situation d'avoir à argumenter, ce qui a nécessité l'élaboration d'une activité non traditionnelle qui sera présentée dans ce chapitre.

Nous avons mené notre recherche sur des élèves en classe de seconde où les notions d'élément chimique et de réaction chimique ont été abordées avec différentes approches pour montrer l'intérêt des deux séquences d'enseignement.

*« Ce que j'entends, je l'oublie ; ce que je vois, je le
retiens ; ce que je fais, je le comprends mieux »
(Proverbe Chinois)*

Chapitre 3 L'élément chimique

Introduction

La transformation chimique a donné lieu à d'innombrables recherches didactiques au cours desquelles plusieurs aspects ont été abordés. Celui de la conservation et de la non-conservation est essentiel et a fait l'objet de quelques travaux (Solomonidou & Stavridou, 2000) car ces deux aspects sont simultanément présents et difficiles à intégrer lors de l'apprentissage. En effet, au cours d'une telle transformation, les espèces chimiques ne se conservent pas, alors que les éléments chimiques, dont elles sont constituées, eux, se conservent. L'enseignement doit ainsi s'efforcer de faire émerger, à peu près en même temps, les délicates notions de transformation chimique, d'espèce chimique et d'élément chimique. Dans leur étude sur la construction de la notion d'espèce chimique, Solomonidou et Stavridou (2000) ont constaté que des lycéens avaient le plus grand mal à comprendre que, lors d'une transformation chimique, les changements observés correspondent à des changements d'espèces chimiques. Ces auteurs rapportent des phrases fréquemment entendues, telles que « l'espèce chimique blanche a changé de couleur », avec l'idée qu'il s'agit toujours de la même espèce chimique. D'autres travaux indiquent que des élèves peuvent dire : « *lors du chauffage [à l'air], le cuivre devient noir*¹ » (Hesse et Anderson 1992). Ainsi, une des conclusions de l'article de Solomonidou et Stavridou traduit que : « l'enseignement de la chimie doit permettre de répondre aux deux questions : (1) Qu'est ce qui change (en relation avec de nouvelles espèces chimiques) et (2) qu'est ce qui se conserve (masse, éléments chimique, atomes²) lors d'une transformation chimique. »

La notion d'invariant est essentielle en science parce que les grandeurs qui se conservent, comme l'énergie, la masse ou la charge permettent d'étudier de nombreuses situations. La notion d'élément chimique est également un invariant, mais à la différence de ceux qui viennent d'être cités, il ne s'agit pas d'une grandeur, et à ce titre n'est donc ni mesurable ni calculable. La chimie a émergé alors que Lavoisier réfléchissait à cette notion qui n'a cessé de se préciser au cours du XIX^e siècle. Cependant, à la différence des savants qui ont compris cette notion en utilisant un grand nombre de faits expérimentaux, les élèves en disposent de très peu, et pour cette raison nous avons basé notre recherche sur des bases didactiques et psychologiques plus que sur des considérations historiques, comme l'on fait Laugier et Dumon (2000 ; 2003) pour comprendre comment les élèves peuvent la construire.

¹ C'est l'oxyde de cuivre ainsi formé qui est noir, et non le cuivre qui devient noir !

² Les atomes ne se conservent pas forcément, par exemple, lors que le fer rouille, les atomes de fer disparaissent, et font place à des ions.

Pour enseigner la notion d'élément chimique, définie précisément ci-dessous, deux possibilités peuvent être envisagées : soit de partir de la structure de l'atome et, moyennant l'hypothèse que son noyau est préservé lors des transformations chimiques, en déduire la propriété de conservation qui caractérise cette notion ; soit encore mettre en évidence la conservation de « quelque chose » qui permet de faire émerger ensuite la notion. Dans tous les cas, il est prévu que l'élève construise la notion d'élément chimique avec peu de connaissances de chimie. On est ainsi ramené à l'enseignement d'une notion fondatrice de la connaissance de l'élève, c'est-à-dire d'une notion qui ne peut s'appuyer sur d'autres connaissances du même champ disciplinaire et avec laquelle celui-ci va se construire. Ce n'est jamais simple (CNCRE, 1998). Dans de tels cas, le recours à l'analogie est souvent proposé, en ce qu'elle favorise la création d'un modèle mental permettant à l'élève de se faire une idée de la notion à apprendre grâce à une autre qui lui est plus familière (Gilbert 1989). La relation entre l'analogie et le modèle scientifique a été remarquée en didactique de la physique : « *it is the analogy relation that makes a model a model* » (Duit, 1991, p.165) et, en chimie : « *the roles of modelling in chemistry and of analogies in modelling suggest a distinctive place for analogies in chemistry teaching and learning* » (Justi et Gilbert, 2006, p.126). Pour autant, l'analogie, quand elle est utilisée dans l'enseignement, doit l'être avec certaines précautions. Ainsi, une analogie apprise par cœur, sans que du sens lui soit donnée, peut être néfaste pour l'apprentissage. Taber (2003) précise qu'il ne sert à rien qu'un élève puisse répéter qu'une structure métallique est comme des cations métalliques baignant dans une mer d'électrons, surtout s'il imagine, au premier degré, que les structures métalliques contiennent de l'eau par exemple.

L'apprentissage de la notion de conservation a été largement étudié par les psychologues, Piaget en tête et, chez l'enfant, cette notion se ramène aux conservations physiques (substance, poids et volume de matière), spatiales (longueur, aire et volume spatial) et numériques (Dolle, 1991, pp. 136-148 ; Speece et al., 1986). Il en ressort que l'enfant acquiert progressivement les différentes notions de conservation : celle de la longueur vers 7 ans, celle de la substance vers 8 ans, ..., celle du volume de matière et du volume spatial n'arrivant que vers 12 ans. Dans le cas de la transformation chimique, le problème est d'abord de remettre en cause la conservation de la substance puisque, par exemple le cuivre métallique disparaît quand il est immergé dans l'acide nitrique, cela se voit. Le problème est ensuite de faire émerger un nouveau type de conservation, celui d'élément chimique, qui lui ne se voit pas. Ce type de conservation se distingue encore par le fait qu'il n'appartient de près ou de loin à aucune des catégories de Piaget. La conservation d'un élément chimique met donc en jeu des schémas plus complexes que nous allons explorer.

Dans ce chapitre, nous nous proposons d'étudier une séquence d'enseignement introductive de la notion d'élément chimique au travers de sa propriété de conservation. Nous allons préciser cette notion et voir ce que les différentes recherches ont proposé. L'objet de notre

étude sera à la fois de présenter la séquence d'enseignement, d'étudier un usage peu usuel d'analogie, de donner un nouveau regard à l'enseignement de la notion d'élément chimique en contribuant aux questions de conservation et non-conservation précédemment évoquées.

Définitions de l'élément chimique

La découverte de la notion d'élément chimique est attribuée à Lavoisier et, bien que sa contribution au développement de la chimie soit immense, la définition qu'il donne de l'élément chimique est purement expérimentale. Il faut prendre conscience que ce que Lavoisier appelle « élément chimique » est, dans notre enseignement, proche d'« espèce chimique » ou de « corps simple ». Dans sa définition, l'élément chimique constitue « le dernier terme auquel parvient l'analyse », c'est-à-dire l'échantillon obtenu par décomposition d'un composé chimique, à savoir ce qui correspond à un corps simple. Les lois qu'il énonce au sujet de ce concept sont des lois de conservation (i) qualitative (s'il y a du cuivre à la fin, il y en a au début), et (ii) quantitative (il y a autant d'élément cuivre au début qu'à la fin). Ces lois ont ouvert un immense champ de recherche qui a permis de doubler le nombre d'éléments chimiques connus : trente-trois à la fin du XVIII^e siècle quand Lavoisier écrit son traité de chimie, soixante-six quand Mendeleïev les classe en 1869. La notion moderne d'élément chimique n'arrive que postérieurement à la découverte par Moseley, au début du XX^e siècle, du numéro atomique, et la seule preuve de la découverte d'un élément chimique, en tout cas au XIX^e siècle, a toujours été l'obtention du corps simple correspondant. Mendeleïev a classifié ce que l'on appelle aujourd'hui des corps simples, et non des éléments chimiques.

La notion d'élément chimique a donc une longue histoire (Martinand, 1986) qui a pris une importance essentielle au XIX^e siècle. Le concept a évolué et sa définition est désormais gérée par l'IUPAC. Aujourd'hui, le Compendium (IUPAC, 1998) (International union of pure and applied chemistry) connu sous le nom de gold book fournit deux définitions du terme élément chimique :

- 1 - *A species of atoms; all atoms with the same number of protons in the atomic nucleus.*
- 2 - *A pure chemical substance composed of atoms with the same number of protons in the atomic nucleus. Sometimes this concept is called the elementary substance as distinct from the chemical element as defined under 1, but mostly the term chemical element is used for both concepts.*

La première définition est retenue par les programmes scolaires français, elle se traduit par : « Catégorie d'atomes : tous les atomes dont le noyau possède le même nombre de protons ». Par atome, il faut inclure atome libre, et au sein des molécules et des ions. Cela signifie que l'atome ou l'ion hydrogène, ses isotopes (H, D ou T) quelqu'en soient les combinaisons

chimiques, D_2O , CH_3T , etc. appartiennent tous à une catégorie appelée élément chimique hydrogène. Il y a donc une relation d'inclusion entre la catégorie « Élément chimique hydrogène » et l'atome H dans le méthane par exemple. A ce titre, entre l'élément chimique et l'atome, il y a donc une relation d'hyperonymie³ comme fruit et pomme, ou siège et chaise. En accord avec cette relation, Viovy (1984) formule la définition de la façon suivante : l'élément est ce qui est en commun au corps simple et à tous les corps composés qu'il peut former (ex. : l'élément oxygène est commun au dioxygène (gaz oxygène), à l'ozone et à tous les composés oxygénés).

La seconde définition de l'IUPAC considère que l'élément chimique est un corps simple dans ses différentes variétés allotropiques et isotopiques, par exemple le dioxygène O_2 ou l'ozone O_3 , que ces molécules soient constituées de ^{16}O , ^{17}O ou ^{18}O . Elle précise que les deux définitions se rapportent à des concepts distincts mais que, dans la plupart des cas, le terme élément chimique est utilisé pour les deux.

Un lycéen canadien apprend que Cl est l'élément chlore ([5], p. 2). Et page 6 de cet ouvrage récent, on peut lire des définitions conformes à la seconde définition de l'IUPAC : « On appelle substance tout type de matière qui a une composition finie [...] Toutes les substances sont soit des éléments soit des composés. Un élément est une substance que l'on ne peut séparer en des substances plus simples au moyen de réactions chimiques ». Si l'on s'en tient aux recommandations officielles françaises, on se doit de distinguer l'élément chimique chlore Cl et le corps simple dichlore Cl_2 . Cela n'est pas sans conséquence sur ce qui peut être dit aux élèves dans l'un et l'autre des pays.

Pour Martinand (1986), distinguer les deux définitions de ce concept est un progrès important pour sa compréhension. Toute analyse d'une publication pédagogique ou de recherche relative à l'élément chimique devrait donc être entreprise en détectant, parfois entre les lignes, si l'auteur utilise la notion d'élément chimique au sens large (ensemble des deux définitions) ou s'il se restreint strictement à la première. Par exemple, une part significative de la littérature anglo-saxonne utilise la notion d'élément chimique au sens large (Schwob & Blondel, 1996 citant Hatab). On trouve ainsi « *if we again consider elements as substances [...]* » (Schmidt et al. 2003, p.259).

D'autres livres par exemple dans *History of the Origin of the Chemical Elements and Their Discoverers* (2001) mélange ce qui est perceptible (matter) et ce qui est non perceptible (the same positive charge)

« What do we mean by a chemical element? A chemical element is matter, all of whose atoms are alike in having the same positive charge on the nucleus and the same number of extra-nuclear electrons. As we shall see in the following elemental review, the origin of the chemical elements show a wide diversity with some of these elements having an origin in antiquity, other elements having been discovered within the past few hundred years and still others have

³ Hyperonymie, subst. fém. Relation d'inclusion établie entre un terme général et un ou plusieurs termes spécifiques. D'après le dictionnaire *Trésor de la langue française*.

been synthesized within the past fifty years via nuclear reactions on heavy elements since these other elements are unstable and radioactive and do not exist in nature.”

Il se trouve fréquemment un cas hybride, qui se réclame de la définition stricte de l'élément chimique et qui, dans les faits, utilise de temps en temps la définition large. Cela transparaît dans des phrases telles que « *L'élément chimique sodium, appartenant à la première colonne de la classification périodique, aura les propriétés chimiques analogues à celle des autres éléments de cette colonne* » (Sallaberry, 2000, p.116) ou : « *Les éléments chimiques d'une même colonne ont des propriétés chimiques similaires [...]* » (Coup, 2004, p.95). Ce type de phrases pose problème car un élément chimique est défini par un nombre de protons alors que les propriétés chimiques dépendent du cortège électronique. Dire que le corps simple Na possède des propriétés chimiques similaires à celle du corps simple K est parfaitement correct, en revanche, comparer les propriétés des éléments chimiques d'une même colonne est un raccourci discutable. Un élément chimique est une catégorie, une classe, une case de la classification périodique. Il ne peut donc avoir de propriété chimique. Par exemple, l'élément chimique hydrogène H est-il oxydant comme H^+ ou réducteur comme H_2 ou H^- ? Ainsi, les attributs de l'élément chimique, définis au sens strict, sont limités au symbole, au nom, au numéro atomique et, conventionnellement, à la masse définie comme la moyenne (avec une précision arrêtée par l'IUPAC) de la répartition isotopique naturelle dans la croûte terrestre (Mnauth & Wilkinson, 1998), mais en aucun cas des propriétés chimiques.

Les travaux sur l'élément chimique

De nombreux travaux sur l'enseignement où l'apprentissage de la notion d'élément chimique ont été publiés, desquels il apparaît quantité de difficultés. Brito et coll. (2005) ont énoncé les spécificités de nombreux ouvrages sur la classification périodique ; Schmidt et al. (2003) recommandent de lutter contre la croyance de l'égalité du nombre de protons et de neutrons au sein d'un atome neutre par une inspection attentive des masses affichées dans la classification périodique. Il cherche à faire différencier les notions d'isotopie et de radioactivité, ou d'isotopie et d'allotropie. Laugier et Dumon (2000 ; 2003) ont catégorisé les obstacles auxquels les élèves étaient confrontés lorsqu'ils abordaient la notion d'élément chimique en relation avec sa propriété de conservation au cours d'une série de quatre réactions chimiques ; Sallaberry (2000) illustre l'évolution des représentations d'un concept chez un individu. Il montre le passage de la représentation imagée à la représentation langagière puis, à leur articulation dans le cas de la construction du concept d'élément chimique.

La notion d'élément chimique, reconnue comme complexe par ces auteurs, de même que, plus anciennement, par d'autres (par exemple : Martinand et Viovy, 1979 ; Bensaude-Vincent, 1984 ; Viovy, 1984 ; Martinand, 1986 pp. 149-174) peut difficilement s'enseigner

sans mettre en jeu celle de réactions chimiques, puisque c'est au sein de celles-ci que sa conservation intervient (Le Maréchal et coll., 2007). Or il nous est apparu essentiel de se priver de l'écriture symbolique des équations chimiques, d'apparence facile (Hesse & Anderson, 1992), mais pour laquelle la signification en relation avec les théories et modèle qui leur donne sens est absente chez l'apprenant de ce niveau (Yarroch, 1985). Pour cet auteur, équilibrer une équation chimique n'est qu'un jeu mathématique d'additions et d'égalités de symboles de part et d'autre d'un signe égal fictif. Pour cette raison, nous avons basé la séquence d'enseignement sur une analogie que nous allons analyser et valider. Cette analogie, d'apparence naïve, présente plusieurs originalités dont la pertinence va être justifiée tant d'un point de vue théorique que par l'apprentissage que nous avons constaté chez des élèves de Seconde (avec une dizaine d'enseignants pendant douze ans environ). Les enseignants qui ont participé à ce travail se sont réunis régulièrement au sein du groupe S.E.S.A.M.E.S.-chimie⁴ pour échanger des informations sur le déroulement en classe d'innovations, et pour corriger, le cas échéant, les textes du travail demandé aux élèves.

Quand des transformations chimiques sont impliquées sans prendre en compte leur aspect quantitatif (bilan de matière par exemple), les difficultés (niveau lycée) se traduisent par le fait que les élèves ne font pas apparaître de connaissances théoriques qu'ils connaissent pourtant par ailleurs. Au lieu d'interpréter des observations relatives aux réactions chimiques par des réarrangements d'atomes, ils en appellent fréquemment à des analogies superficielles d'événements de la vie quotidienne, par exemple « *rouiller, c'est se détériorer* » (Hesse et Anderson 1992). En cela, ils acceptent qu'un composé chimique change ses propriétés sans que lui-même ne soit modifié (Hesse & Anderson, 1992; de Vos & Verdonk, 1985, 1987). Si la modification du composé chimique est reconnue, alors les élèves l'imaginent facilement comme le résultat du mélange et non comme un réarrangement des structures moléculaires (Andersson, 1986, 1990; Hesse & Anderson, 1992).

Jusqu'au début du collège (grade 7 et 8), une petite partie des élèves (12% en grade 7 et 4% en grade 8) donne l'exemple d'une dissolution comme réaction chimique, et la plupart évoque la combustion (Ahtee et Varjola, 1998). Ces auteurs précisent également que le changement d'état n'est considéré comme une réaction chimique que par 7% des élèves de lycée (senior secondary school)⁵. Bien que les élèves mentionnent la combustion comme une réaction chimique, celle-ci n'est pas perçue, (entre 11 et 15 ans) comme mettant en jeu des réactifs, mais au contraire, comme étant une conséquence de la présence d'une flamme dotée de la propriété de changer les « objets » placés à son voisinage, que ce soit le combustible ou

⁴ <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames/> (visité 01/08)

⁵ Au niveau scolaire, il est important de faire comprendre que la dissolution ou les changements d'état ne sont pas des réactions chimiques. Quand on y regarde de plus près, plus tard dans les études, cette catégorisation devient moins tranchée. Par exemple, lors de la dissolution d'un sel, les ions changent d'environnement chimique, ce qui est une des caractéristiques d'une réaction chimique, tout comme les molécules des constituants d'un eutectique lors d'une transition liquide solide.

l'air (Méheut, 1989). Pour un tiers de ces mêmes élèves, une invariance des substances (et non des éléments) est notée. Ainsi, « *le bois brûlé est encore du bois, l'alcool quand il brûle reste de l'alcool, il ne fait que s'évaporer, les métaux ne peuvent que fondre* » (ibid. p.999 ; Méheut et coll. 1985). Le rôle des flammes lors des combustions est également apparu chez d'autres auteurs (Driver et coll. 1985 ; Andersson 1990). La conception agent-patient (Lakoff & Johnson, 1980, pp. 70–71) a également été relevée dans les conceptions des élèves mises en œuvre pour interpréter une transformation de la matière. Au lieu de considérer la symétrie de partenaires de la réaction, l'un (l'agent) est considéré réaliser la transformation, l'autre (le patient) la subissant. Ainsi lorsque du sel est introduit dans l'eau, certains élèves considèrent que l'eau est l'agent (actif) alors que le sel est le patient (passif). En revanche, pour expliquer le goût salé de l'eau, les mêmes élèves n'hésitent pas à inverser les rôles d'agent et de patient, considérant alors que le sel est l'agent (Hatzinikita et coll., 2005).

Analyse des savoirs de référence

L'analyse des programmes de seconde montre que l'élève doit apprendre la notion d'élément chimique alors qu'il ne dispose que de peu de connaissances en chimie. Il sait à peine ce qu'est une transformation chimique, n'a aucune notion d'atomistique, pas plus qu'il ne connaît la classification périodique. La principale caractéristique de l'élément chimique sur laquelle l'enseignant est supposé s'appuyer est celle de conservation au cours des transformations chimiques. La notion de conservation d'un élément chimique diffère largement de la conservation telle qu'elle est acquise chez l'enfant.

L'analyse du savoir en relation avec la notion d'élément chimique peut être faite à partir du curriculum et du savoir enseigné (tableau 1). Elle montre que lors de l'introduction expérimentale telle que le recommande le curriculum (*Approche expérimentale de la conservation (par exemple du cuivre, du carbone ou du soufre, sous forme atomique ou ionique) au cours d'une succession de transformations chimiques.*), la notion de conservation ne correspond pas aux conservations physique, spatiale ou numérique que connaît l'élève. La notion de conservation repose sur peu de caractéristiques habituelles de la conservation, ce qui contribue certainement à sa difficulté. En effet :

- ⊕ Il n'est pas question d'espace.
- ⊕ Il est effectivement question de matière, mais celle-ci ne se conserve pas au sens habituel du terme. C'est là toute la difficulté de la transformation chimique qui change la matière, du moins tel que l'élève le perçoit.
- ⊕ La conservation de la quantité de protons, qui caractérise l'élément chimique, ne fait pas partie du savoir à enseigner lors de l'introduction expérimentale de la notion.

- ✚ La conservation du poids (ce serait en l'occurrence celle de la masse) pourrait théoriquement être utilisée, mais dans la pratique expérimentale des lycées, il n'est pas envisageable de réaliser de telles mesures.
- ✚ Par ailleurs, la notion d'élément chimique n'est pas une quantité.

A partir de ces considérations, nous comprenons la difficulté de répondre aux attentes du programme tout en considérant ce que la notion de conservation est pour l'apprenant. De plus, cela montre que le programme officiel a choisi de ne pas aborder la notion d'élément chimique par sa définition de l'IUPAC mettant en jeu le nombre de protons contenus dans les noyaux des entités chimiques. Il s'agit donc d'impliquer l'élève dans une démarche expérimentale d'où il doit comprendre que « quelque chose » se conserve. Les différents travaux ayant montré la complexité de l'apprentissage sans proposer de solution convaincante, nous avons envisagé l'usage d'une analogie de la notion de transformation chimique (voir ci-dessous). Celle-ci fait nettement apparaître certaines caractéristiques usuelles de la notion de conservation. Des exemples vont être évoqués pour montrer comment les élèves peuvent l'utiliser avec profit lors de l'apprentissage, et comment les enseignants la prennent en charge dans leur pratique.

L'élément chimique a un symbole	Savoir enseigné lors de l'introduction de la notion
L'élément chimique se conserve lors d'une transformation chimique	
L'élément chimique se rencontre sous plusieurs formes	
L'élément chimique est caractérisé par son nombre de protons (= son numéro atomique)	Savoir à enseigner lors de la suite du curriculum
L'élément chimique a une masse ⁶ dont la valeur permet de calculer les masses molaires	
Il existe une centaine d'éléments chimiques, regroupés dans la classification de Mendeleïev	

Tableau 1 – Analyse des savoirs de référence où intervient la notion d'élément chimique

Notre point de vue sur la construction de l'élément chimique

Construire chez l'élève le concept d'élément chimique revient à construire, non pas une nouvelle catégorie, mais un nouveau type de catégorie. Il ne s'agit pas de construire une catégorie d'objets macroscopiques comme des petites bêtes à six pattes regroupées sous la dénomination d'insectes, ni d'objets géométriques comme les figures de quatre côtés

⁶ « La masse d'un élément chimique est la valeur recommandée de la masse atomique relative, valeur revue tous les deux ans par la commission de l'IUPAC sur les masses atomiques et les abondances isotopiques, et applicable aux éléments dans tout échantillon normal [qui n'a pas subi de modification isotopique] avec un bon degré de confiance. ». <http://www.iupac.org/goldbook/S05907.pdf>, visité 01/08.

parallèles deux à deux catégorisés comme des parallélogrammes. Il s'agit de regrouper des entités que l'élève n'a jamais vu (atomes ou ions de différents isotopes) ayant le même nombre de protons dans leur noyau (concepts inconnus de l'élève) sous l'hypéronyme d'élément chimique. Les élèves n'ayant pas encore appris le concept de noyau, le programme recommande que cette définition ne soit pas utilisée. A la place, la catégorie qu'il faut construire est définie par la seule propriété de conservation lors d'une transformation chimique. Outre la difficulté de donner du sens à une catégorie ainsi définie, il faut garder à l'esprit que la notion de transformation chimique est en cours de construction chez l'élève.

Dans de nombreux manuels scolaires et articles, la construction de la notion d'élément chimique est basée sur les expériences suivantes : oxyder (et donc faire disparaître) du cuivre métallique en ions Cu^{2+} , puis faire quelques transformations chimiques dont la dernière fait réapparaître le métal, caractérisé par sa couleur. C'est là tout l'intérêt du choix du cuivre. La conclusion d'un tel travail est que si le cuivre métallique a pu disparaître puis réapparaître, c'est que quelque chose en rapport avec lui se conserve (Grossetete, 1996 ; Lecardonnel, 1993 ; Gentric, 1993 ; Laugier & Dumon, 2000 ; 2003). Une telle idée avait été proposée par Piaget et Inhelder (1941) à propos de la conservation de la matière lors d'une dissolution, dont le caractère réversible éclaire les élèves de 12-13 ans. Par ailleurs nous reviendrons, lors de la discussion, sur cette approche qui recèle des difficultés que les recherches sur ce sujet semblent ne pas avoir abordées, par exemple la polysémie du mot *cuivre*. Dans le langage habituel, celui-ci désigne en effet soit le *métal cuivre*, soit l'*élément chimique cuivre*. L'hypothèse que seul le premier sens soit connu des élèves peut être formulée. Ainsi, évoquer le terme *cuivre* à des élèves revient, de leur point de vue, à parler du métal, alors que le plus souvent, l'enseignant semblerait avoir en tête l'élément chimique.

La figure 1 représente les diverses connaissances liées à la notion d'élément chimique. Les relations entre ces connaissances sont indiquées par des liens. En gris gras apparaissent les connaissances et les relations qui doivent être construites, à partir de celles, déjà connues qui sont indiquées en noir maigre. Ce schéma précise : la connaissance initiale des élèves pour qui cuivre et métal cuivre sont identiques ; la polysémie qui existe autour du mot *cuivre*, suivant qu'il est métal ou élément chimique ; le fait que l'élément chimique cuivre est un élément de la catégorie *éléments chimiques* ; et les principales propriétés de l'*élément chimique* qui permettent de définir la catégorie.

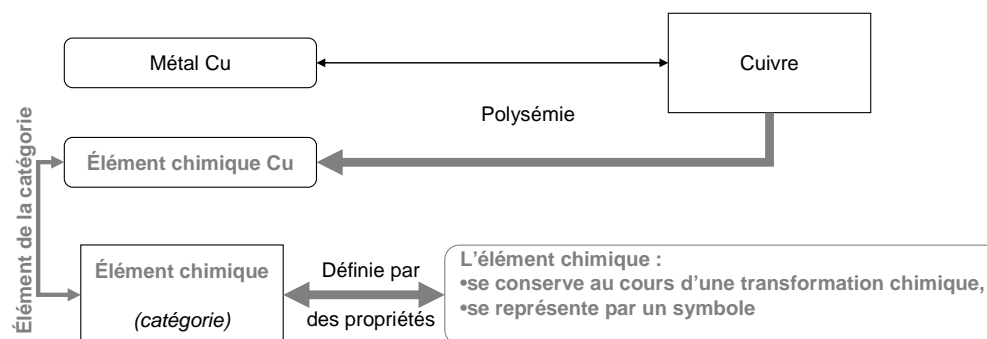


Figure 1 – Les diverses connaissances liées à la notion d'élément chimique dans la situation d'enseignement étudiée.

La présentation de la séquence d'enseignement exposée dans la suite du chapitre consiste à montrer comment peuvent se construire les connaissances représentées en gris sur la figure 1 à travers les différentes questions. Notre approche diffère de celles citées précédemment en ce qu'elle souhaite mettre en œuvre la notion de conservation (et de non-conservation) à l'aide d'une analogie, afin de faire réfléchir sur la propriété essentielle de la catégorie dont l'élève va devoir comprendre le sens. Puis, il faudra faire apparaître l'ambiguïté liée à la polysémie du terme *cuivre* afin qu'un premier élément de la nouvelle catégorie soit installé.

Séquence d'enseignement

Objectif de la séquence

L'introduction de l'élément chimique se base sur une activité expérimentale classique qui consiste à faire « disparaître » du cuivre métallique et le faire « réapparaître » pour en inspirer l'idée de conservation (Viovy, 1984). A l'aide de différentes transformations chimiques (l'acide nitrique avec le cuivre métallique puis des ions cuivre avec une lame de fer, ...), l'élève est amené à constater cette disparition et cette apparition. Cette démarche, qui s'apparentait en 1984 à de l'inductivisme, est doublée ici de l'utilisation d'une analogie dont la représentation joue le rôle de modèle provisoire (Justi & Gilbert, 2006). Celui-ci devrait contribuer, dans un second temps, à permettre la compréhension de la notion d'élément chimique.

Cette analogie se base essentiellement sur des êtres imaginaires, les Blinks, dont la particularité est d'être composés d'un « centre » et d'une « enveloppe » qui doivent forger la représentation mentale chez l'élève du noyau et de son cortège électronique. La conservation du centre, du nombre, mais pas de « l'enveloppe » met l'élève sur la piste de la conservation de ce que nous appellerons l'élément chimique. Afin de donner du sens à ce concept, il faut

impérativement que l'élève relie ses observations expérimentales à la notion d'élément chimique.

Les connaissances *a priori* d'un tel TP sont résumées dans la figure 2 pour les principales questions décrites précédemment. Cette figure montre comment la contradiction a été préparée par les branches de gauche (non-conservation) et de droite (conservation).

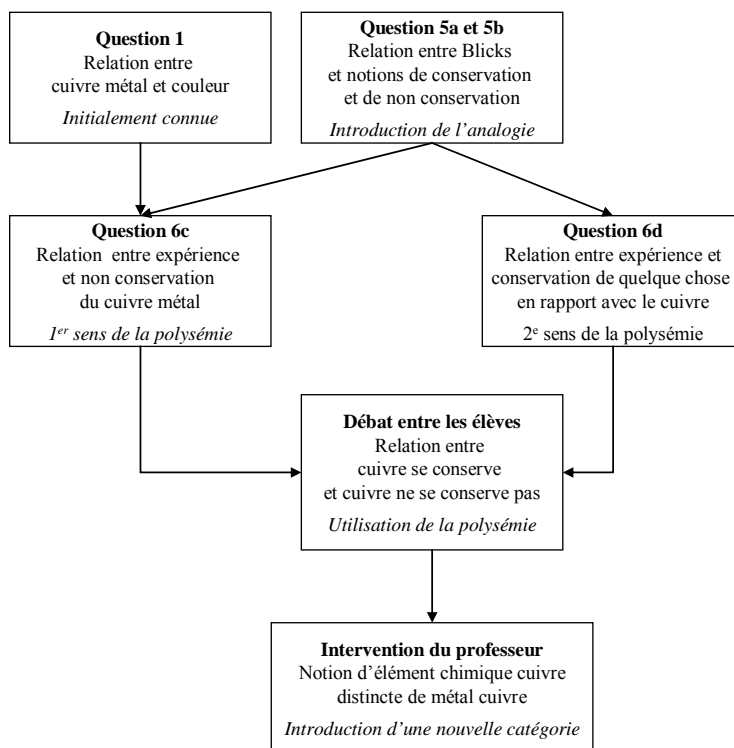


Figure 2 – Principales connaissances *a priori* mises en jeu pendant l'activité. Les flèches indiquent la filiation des idées.

Notre texte ne pose de questions que sur les observations et non sur leurs interprétations. Nous faisons en effet l'hypothèse que l'élève n'est pas en mesure de proposer l'interprétation attendue puisqu'il aurait besoin, pour ce faire, de disposer des connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage sur l'élément chimique qui va suivre.

Intérêt de la séquence

Derrière un côté naïf, c'est du moins ce que les enseignants qui découvrent la situation des Blinks généralement disent (ou avouent avoir pensé), une grande richesse apparaît à l'analyse. La transformation des Blinks possède des points communs avec une transformation chimique, puisque les deux transformations, qui sont les objets de savoir similaires considérés, possèdent des attributs également similaires. En effet, la

transformation des Blinks se déroule avec quelques changements (de forme et d'espace) et quelques conservations (du nombre de Blinks et de la présence de leur noyau), et par ailleurs la transformation chimique se déroule aussi avec au moins un changement (le métal cuivre disparaît) et au moins une conservation (l'élément chimique cuivre est conservé). Par ailleurs, la boîte de Blinks est analogue au tube à essais, puisque les relations entre les Blinks le matin et les Blinks le soir sont analogues aux relations entre les tubes à essais avant et après transformation (figure 3).

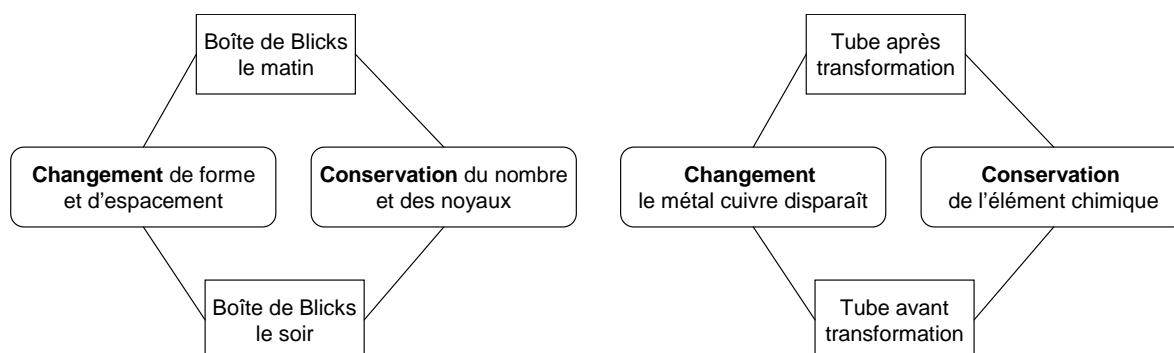


Figure 3 – Analyse de l'analogie entre la boîte de Blinks et le tube à essai dans lequel s'effectue la transformation chimique.

Les similitudes entre les deux situations laissent espérer que les élèves vont les associer. L'analogie entre les deux situations a été conçue pour effectuer un travail sur la polysémie (figures 1 et 2). On constate qu'à chaque sens du mot *cuivre* est associée une relation entre le tube à essai avant et après transformation, et que ces deux relations ont leurs analogues avec les Blinks. Il est permis d'espérer que les propriétés de conservation et de non-conservation soient mises au centre de la réflexion des élèves, comme une façon privilégiée d'introduire la notion d'élément chimique.

Elaboration et observation de la séquence

La séquence d'enseignement mettant en scène l'analogie a été élaborée avec des enseignants en tenant compte de la figure 1. Elle a été testée pendant plusieurs années avec une dizaine d'enseignants afin d'améliorer la présentation du texte de la tâche, et sa réalisation en classe. Une fois le texte stabilisé, ce qui constitue une condition nécessaire à sa validation, des données ont été prises pendant deux ans dans divers établissements en classe de Seconde. Plusieurs types de données ont été relevés :

- ✚ Les réponses écrites dans 98 comptes rendus (196 élèves) dans différentes classes afin d'assurer une représentativité des observations sur les productions finales d'élèves (annexe 8 document 8 a et 8 b) ;

- ✦ l'observation de 2 binômes d'élèves qui ont été filmés pendant la séance de TP afin de comprendre comment ces élèves utilisaient l'analogie (annexe 4 document 4 a et 4 b) ;
- ✦ l'observation de trois enseignants (pseudo : H, M et D) qui ont été filmés (H quatre fois, M deux fois et D une fois) alors qu'ils utilisaient le travail des élèves pour introduire la notion d'élément chimique. H et M ont introduit la notion d'élément chimique pendant le TP alors que D a attendu la séance suivante (annexe 5 documents 5a, b, c, d, e, f, g). Les données avec les enseignants doivent permettre d'analyser l'enseignement à la suite de l'analogie, et de comprendre les possibles difficultés auxquelles ils se heurtent.

Description de la séquence

L'originalité de cette séquence d'enseignement concerne sa mise en œuvre et le travail de réflexion qui l'accompagne.

L'élève trouve sur sa paillasse des échantillons métalliques et la question suivante est posée.

1) Comment peut-on reconnaître simplement le cuivre d'autres métaux comme le fer ou le plomb ?

Cette question exploite la connaissance initiale de l'élève (flèche supérieure figure 1). Elle prépare la reconnaissance du cuivre au point 5 ci-dessous. 96 des 98 comptes rendus ont proposé de reconnaître le cuivre à sa couleur dont 13 binômes répondaient en plus de la couleur l'une des caractéristiques suivantes : texture, masse, poids, forme, composition et souplesse. Les élèves se sont donc appropriés une première notion en relation avec le concept cible. En plus ils évoquent presque tous la couleur, ce qui permet de reconnaître le métal cuivre au moment où il réapparaîtra. Puis il lui est demandé de réaliser la réaction suivante :

2) Transformation n° 1 : Prendre un petit morceau de cuivre (30 à 40 mg) et l'introduire dans un tube à essai. Ajouter avec précaution environ 1 mL d'acide nitrique (port de lunettes obligatoire, éviter tout contact entre l'acide et la peau). Observer et décrire les observations.

A quoi peut-on dire que la transformation est terminée ?

Cette transformation se retrouve dans la quasi-totalité des manuels français consultés (pratiquement tous ceux édités entre 1993 et 2004). Sa pérennité provient des caractéristiques reconnaissables du métal (orangé) et des ions (bleus) qui résultent de son oxydation. A propos de la même transformation, Laugier et Dumon (2003) indiquent que les élèves constatent la disparition du cuivre, la formation d'un gaz roux (NO_2 , toxique), l'apparition d'une couleur bleue ($\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$) et l'échauffement de la solution (exothermicité). Avec nos conditions expérimentales, le dégagement du gaz est faible (pour que chaque binôme réalise la réaction en toute sécurité), il est donc mal perçu par les élèves

si leur attention n'est pas attirée sur ce point par l'enseignant. Certains élèves pensent même que le tube à essais se colore, et il faut les aider pour leur permettre de prendre conscience qu'il s'agit de l'apparition d'un gaz. Qu'un gaz puisse être un réactif ou un produit, et même que ce soit de la matière, peuvent en effet être ignorés d'élèves de lycée (Hesse & Anderson, 1992). D'autre part, il n'y a pas d'échauffement, ce qui constitue une observable en moins. En revanche, le cuivre disparaît totalement en quelques minutes (si la concentration de l'acide est 6 à 7 mol.L⁻¹), ce qui est essentiel pour la suite du travail qui utilise sa réapparition.

Nous constatons que notre texte ne pose de questions que sur les observations et non sur leurs interprétations. Nous faisons en effet l'hypothèse que l'élève n'est pas en mesure de proposer une interprétation puisqu'il a besoin, pour ce faire, de disposer des connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage sur l'élément chimique qui va suivre. La question se pose donc de savoir s'il est possible d'observer sans une base théorique (Johsua & Johsua, 1987). La « théorie » derrière cette observation est la relation entre une espèce chimique ou un ion, et sa couleur ou son état physique. Cette base théorique étant connue de l'enseignant, celui-ci guide l'élève en lui demandant d'observer et, par contrat, attend une réponse sur l'évolution des couleurs.

3) Pendant que la transformation chimique se déroule, déposer avec une pipette une goutte d'acide nitrique sur la partie brillante d'une lame de fer. Rincer la lame de fer à l'eau du robinet. Décrire les observations.

Les lames de fer doivent être exemptes de rouille qui peut faire office de distracteur, par sa couleur voisine de celle du cuivre. Par ailleurs, faire constater aux élèves l'effet de l'acide nitrique sur le fer est important pour que l'interprétation des expériences à venir soit simplifiée.

*4) **Transformation n° 2** : Quand la transformation chimique mettant en jeu le cuivre et l'acide nitrique est terminée, ajouter 1 à 2 mL d'eau dans le tube. Boucher et agiter. Avec une pipette, prélever un peu de la solution bleue et en déposer une goutte au milieu de la partie brillante de la lame de fer. Rincer la lame de fer à l'eau du robinet. Identifier la tache observée.*

Le dépôt de cuivre immédiat est identifié : “ c'est couleur cuivre ”. La notion d'expérience témoin comme la transformation n° 2 n'est pas complètement évidente⁷ puisque 4 binômes sur 98 ont « vu » de la rouille.

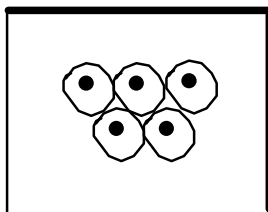
⁷ Une expérience témoin fonctionne sur une causalité simple : les mêmes causes produisant les mêmes effets, une modification de l'effet doit donc être imputée à la cause.

5) Les “ Blinks ”⁸ sont des êtres imaginaires : admettons que l’on en a enfermé 5 dans une boîte ; voir le schéma ci-dessous. On observe la boîte le matin et le soir.

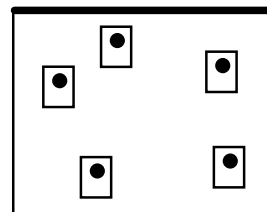
A partir des schémas des deux boîtes rectangulaires ci-contre répondre aux questions A et B :

Question a : Qu’est ce qui ne s’est pas conservé dans cette boîte ?

Question b : Qu’est ce qui s’est conservé pendant la transformation ?



une boîte le matin



la même boîte le soir

Le contenu de la boîte s’est transformé entre le matin et le soir.

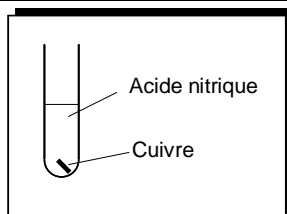
Cette 5^e question met l’élève face à la source de l’analogie. C’est la première étape d’un tel fonctionnement (Sander, 1998, p.27). L’attention de l’élève est attirée sur ce qui est essentiel, une transformation dans laquelle certaines « choses » se conservent et d’autres non. Ces idées sont à la base de la construction de la catégorie « Élément chimique », voir Figure 1, et permettront d’interpréter la transformation chimique en s’appuyant sur l’analogie.

L’analogie Blinks (matin) → Blinks (soir) correspond par exemple à une réaction d’isomérisation (ex. *cis*-but-2-ène → *trans*-but-2-ène), ou à une réaction électrochimique ($\text{Cu(s)} \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$). En même temps, la représentation des Blinks oriente vers l’idée que les noyaux des atomes se conservent lors d’une transformation chimique. Une limite de cette analogie est l’absence de prise en compte de la notion de stœchiométrie, mais celle-ci n’est objet d’apprentissage que plusieurs mois après dans la séquence d’enseignement adoptée.

La forme et la disposition des Blinks ont été considérées par 85 des 98 comptes rendus comme « ne se conservant pas » dans la transformation impliquant les Blinks. A la question 5b, 46 des 98 comptes rendus indiquent que le noyau et le nombre des Blinks étaient conservés pendant cette transformation, et 52 écrivent que l’une ou l’autre de ces caractéristiques se conserve, en plus d’autres comme structure, taille... Cela indique également que la notion de conservation (et de non conservation) émerge explicitement pour le cuivre.

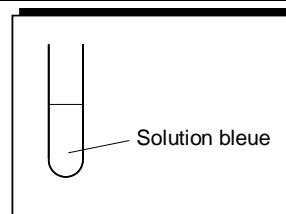
⁸ Le terme de Blinks a été choisi parce que, lors de nos premières tentatives d’utilisation de tels schémas, les élèves se posaient inutilement la question de savoir ce que représentaient ces formes.

6) A propos de l'expérience entre le cuivre et l'acide nitrique que l'on peut schématiser ainsi, répondre aux questions C et D :



Tube à essais au début

Le contenu du tube s'est transformé entre le début et la fin de l'expérience.



et à la fin de l'expérience

Question c: Qu'est-ce qui ne s'est pas conservé dans ce tube ?

Question d : Qu'est-ce qui s'est conservé pendant la transformation ?

Quel lien peut-on établir entre les boîtes de Blinks de la question 5 et cette expérience avec le cuivre et l'acide nitrique ?

Il s'agit maintenant d'aborder le cœur de l'apprentissage de l'élément chimique. Nous attendons pour la question C : « le cuivre a disparu, la solution s'est colorée, les vapeurs rousses sont apparues », et pour la question D que « le cuivre est toujours présent dans la solution bleue, puisqu'il peut "réapparaître" ». Comment est-ce possible que le cuivre puisse disparaître tout en restant présent ?

87 des 98 comptes rendus indiquent que le cuivre ne se conserve pas, et à la question 6d, 42 indiquent que le cuivre se conserve (d'autres ont écrit que l'acide, ou la solution, se conserve). Cela renforce l'idée résultant de l'analyse de la question précédente sur l'importance du rôle des notions de conservation et de non conservation. Ce qui a constitué un trait de structure de l'analogie est, comme l'hypothèse l'avait pressentie, devenu le cœur du problème sur lequel les élèves vont réfléchir. La valeur 42/98 montre la difficulté à faire énoncer l'idée de conservation de quelque chose en rapport avec le métal cuivre, suite à sa réapparition. Cette idée semblait pourtant évidente pour les auteurs cités ci-dessus qui, depuis Viovy (1984), utilisent cet artifice expérimental.

Alors que les autres questions ont permis de mettre en jeu l'essentiel des connaissances importantes de l'activité, seuls 33 comptes rendus font apparaître simultanément que le cuivre s'est et ne s'est pas conservé. Il ne faut cependant pas en déduire que les autres binômes n'ont pas eu ce débat, les comptes rendus ne reflétant pas la totalité des idées échangées entre les élèves.

Le rôle de l'expérience en relation avec la situation analogue des Blinks a été déterminant puisqu'il a permis au moins à la moitié des élèves de prendre simultanément en compte la non-conservation et la conservation du cuivre. Savoir si les Blinks ont été importants pour les élèves est discutée avec la question 6d : dans les comptes rendus ; dans les enregistrements ; et à la dernière question lorsque l'on demande aux élèves de produire des représentations inspirées des Blinks pour traduire d'autres cycles impliquant l'élément chimique cuivre.

Les comptes rendus de la question 6d : *Quel lien peut-on établir entre les boîtes de Blinks de la question 5 et cette expérience avec le cuivre et l'acide nitrique* font apparaître 72 fois sur 98 (72%) l'idée était : « Comme les Blinks, le cuivre a changé de forme / d'aspect ». Pour 12 autres comptes rendus, on a trouvé « Le même fonctionnement [pour le cuivre que pour les Blinks] ». La relation attendue apparaît donc largement et de façon correcte puisque seuls 14 binômes sur 98 (14%) ne font pas de relation avec les Blinks. Il est possible d'en savoir plus en lisant la transcription des enregistrements vidéo (tableau 2) :

Question 6d
Quel lien peut-on établir entre les boîtes de Blinks de la question 5 et cette expérience avec le cuivre et l'acide nitrique ?
216 – Que ça ne forme plus un bloc et que ça s'est dispersé comment on dit
219 – Le morceau est comme la boîte de matin et la solution bleue comme la boîte du soir
224 – Au début de l'expérience le cuivre / est solide donc ça on le voit quoi
226 – Le cuivre est solide et/ enfin visible/ tu mets
228 – Visible au microscope maline mais évidemment à la fin de l'expérience
229 – Tout comme les Blinks le cuivre devient liquide et passe du solide au liquide !
243 – Tout comme les Blinks le cuivre fusionne avec l'acide nitrique
245 – Mais les Blinks il n'y a pas d'acide nitrique
249 – Tout comme les Blinks qui ont fusionné avec on ne sait quoi le cuivre fusionne avec l'acide nitrique

Tableau 2 – Extrait de la transcription d'un des binômes à la question 6d (le lien).

L'analogie de la transformation chimique, pour simple qu'elle soit, a donc effectivement joué son rôle comme les tours de parole 229, 245 et 249 le montrent. En effet, les Blinks et les éléments de la situation expérimentale sont simultanément utilisés, et les Blinks donnent du sens à la réaction chimique. Cet extrait est bien représentatif des comptes rendus comme le pourcentage élevé de mise en relation le montre. Lors de la discussion, une interprétation de termes comme « liquide » ou « fusionne » aux tours de paroles 229 et 245 sera proposée.

A l'issue de ce travail, les enseignants interrompent l'activité expérimentale pour introduire la notion d'élément chimique, y compris sa notation symbolique (par exemple Cu pour le cuivre). Celle-ci peut donc être utilisée dans la suite du travail.

Le second binôme enregistré a également donné du sens à la représentation des Blinks. L'association entre les Blinks « bien cristallisés » et le cuivre solide (compact) est faite, puis avec le cuivre qu'ils disent liquide, c'est-à-dire en solution (dispersé). Les situations analogues ont réellement été reliées, et nous avons entendu (tableau 3) :

Question 6d

**Quel lien peut-on établir entre les boîtes de Blinks de la question 5
et cette expérience avec le cuivre et l'acide nitrique**

147 – Quand il est solide c'est tout compact et après quand il est liquide ils se séparent

204 - Au début le cuivre était compact et après il s'est dispersé

206 - On fait le truc de cuivre et on met les petits ronds dedans comme ça /si tu veux on fait un mixte des deux

*Tableau 3 – Extrait de la transcription d'un des binômes à la question
6d (le lien).*

Nous montrons ici que la contradiction s'installe effectivement et nous examinons la façon dont les élèves s'en échappent. Rappelons que la gestion de la polysémie du terme « cuivre », à l'origine de la contradiction, nous paraît capitale pour comprendre la notion d'élément chimique au sens strict.

La contradiction conservation / non-conservation du cuivre est clairement apparue dans le débat d'un des deux binômes filmés (Tableau 4, tours de parole 199 : « le cuivre a disparu », et 203 : « le cuivre s'est conservé »), ce qui montre que l'analogie et l'expérience ont joué leur rôle respectif. Il en est ainsi d'une analogie, de permettre l'attribution de la propriété de conservation des Blinks à la conservation du « cuivre ». Quant à l'expérience, elle a clairement montré que le « cuivre » (le copeau métallique) ne se conservait pas lors de la transformation chimique. Cette difficulté mentionnée par Soloonidou et Stavridou (2000) est donc prise en compte.

Les élèves ont cherché à lever leur contradiction, ce qui est apparu au tour de parole 203 « [le cuivre] s'est conservé mais liquide ». L'intérêt d'une telle distinction entre le « morceau de cuivre » et le « cuivre conservé mais liquide », tient au fait que le terme « cuivre » jusqu'à présent utilisé, a donné naissance à deux notions (le morceau qui ne se conserve pas, et autre chose qui se conserve). L'enseignant introduira également deux notions : « le cuivre métal » et « l'élément chimique cuivre ». Un tel binôme d'élèves sera donc particulièrement apte à écouter ce message susceptible d'occasionner un changement conceptuel.

En favorisant la distinction de deux concepts, l'analogie a permis aux élèves d'adapter leur point de vue sur la situation expérimentale au point de vue théorique qui distingue métal et élément chimique. Par là, l'analogie estompe une difficulté centrale de l'activité de modélisation qui provient du fait que la structure des connaissances sur le champ expérimental n'est pas isomorphe à celle sur le niveau théorique. Cette adaptation des deux niveaux de connaissance, délicate pour les élèves, est advenue avec la sortie de la contradiction qui se traduit par la distinction des deux sens du mot « cuivre ».

Question 6d – Conservation

Qu'est ce qui s'est conservé pendant la transformation ?

194 – Pas le morceau de cuivre mais le cuivre et l'acide ;

196 – Le cuivre est toujours là

199 – Le cuivre et pas le morceau je suis en train de me contredire là la matière le cuivre le morceau il s'est évaporé il s'est effervescence bon bref il est disparu je suis un peu

201 – le cuivre et qu'est ce qui s'est conservé le cuivre

203 – dans [question] c, le morceau de cuivre et dans [question] d le cuivre est conservé mais liquide

204 – c'est pas un contresens c'est déjà ça

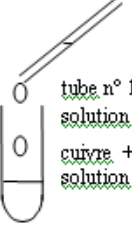
Tableau 4 – Extrait de la transcription d'un des binômes à la question 6d.

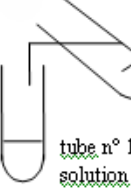
Un tel débat est également apparu avec l'autre binôme filmé, mais la contradiction est moins explicitée. Dans les deux cas, cette discussion a été assez longue (105 et 61 tours de paroles respectivement). Pour autant, 87 des 98 comptes rendus indiquent que le cuivre a disparu alors que seulement 42 comptes rendus font apparaître que le cuivre s'est conservé.

Ces résultats montrent que la séquence d'enseignement peut soulever une contradiction. Nous avons fait l'hypothèse que celle-ci était indispensable pour que la polysémie du terme « cuivre » puisse être traitée par l'enseignant lors du bilan. Bien avant celui-ci, dans le feu de l'action, certains élèves (au moins ceux observés en vidéo) sont sortis de la contradiction en faisant émerger deux notions distinctes autour du terme « cuivre ». C'est un pas important dans l'apprentissage de la notion d'élément chimique.

Suivant les enseignants, la suite du TP a pris différentes formes. Le plus souvent, la notion d'élément chimique, *en termes de conservation et de son symbole*, une fois introduite est réutilisée dans des réactions de précipitation d'hydroxyde de cuivre et de formation d'aminocomplexe. A chaque fois, la solution bleue pâle est restituée par acidification. De nouveaux petits cycles peuvent être soumis à la sagacité des élèves.

La suite du travail propose une série d'expériences pour généraliser la conservation de l'élément chimique cuivre à d'autres transformations et pour faire intervenir le transfert de l'analogie, mais cette fois en relation avec les symboles chimiques.

<p>7) Transformation n° 3 : Réaliser l'expérience schématisée ci-contre puis observer et décrire les observations.</p>	 <p>tube n° 1 : 1 mL de solution de sulfate de cuivre + 2 gouttes d'une solution d'hydroxyde de sodium</p> <p>tube n° 2 : 1 mL de solution de sulfate de cuivre</p>
---	--

<p>8) Transformation n° 4 : Réaliser ensuite l'expérience schématisée ci-contre. Observer et décrire les observations.</p>	 <p>tube n° 1 + 1 ou 2 mL de solution d'ammoniac</p> <p>solution d'ammoniac</p>	<p>Ajouter la solution d'ammoniac jusqu'à ce que tout le contenu du tube soit homogène. Bien agiter le tube à essai.</p>
---	--	--

9) Transformation n° 5 : Ajouter, toujours dans le tube n° 1, de l'acide nitrique dilué à 50% jusqu'à disparition de la couleur bleue intense et ajouter au tube n°2 de l'eau de façon à ce que les tubes n°1 et 2 possèdent la même quantité de liquide.
Observer et décrire les observations.

Cette partie, pour laquelle nous n'avons conservé que les travaux réalisés en autonomie, et non ceux remplis sous la direction de l'enseignant, est étudiée par l'intermédiaire de 31 comptes rendus. Elle consiste en quelques expériences en tubes à essais. La solution bleue contenant des ions Cu^{2+} est mise en milieu basique pour former le précipité $\text{Cu}(\text{OH})_2$ puis redissous en milieu ammoniacal pour former l'ion $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$. Enfin, un ajout d'acide nitrique permet de faire réapparaître la couleur bleue caractéristique des ions Cu^{2+} .

L'interprétation de ce cycle, un peu plus long que le précédant puisqu'il met en jeu trois réactions et non deux, a été proposée (tableau 5). Celui-ci associe l'ensemble des manipulations expérimentales de la séance et les couleurs observées (bleu pâle, orangé, bleu céleste). Il met également en évidence la variété des formes (en solution ou solide ; ion, précipité ou métal) sous laquelle l'élément chimique est impliqué, alors même qu'il se conserve. Les différents états physiques ont été fournis aux élèves car ceux-ci ne connaissent pas l'état « en solution » pour un ion. Dans ces conditions, le tableau fut correctement rempli dans 100% des comptes rendus, soit en rappelant le mode opératoire utilisé, soit en indiquant seulement le réactif impliqué dans la transformation, voire le numéro de la transformation.

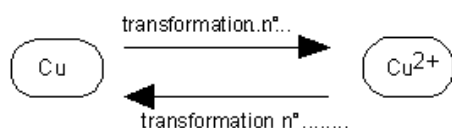
Le remplissage du tableau par les élèves implique qu'ils ont fait des liens entre les expériences réalisées, leur description et la nature des « objets » (métal, ions) impliqués dans les transformations. Cela constitue un indice que ces connaissances de diverses natures font sens pour les élèves.

formule chimique	aspect couleur	état physique	préciser : métal, ions ou précipité ?	obtenu par quelle transformation ?
Cu^{2+}	bleu pâle	en solution		
Cu	rouge-orangé	solide		
$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	bleu céleste	en solution		
$\text{Cu}(\text{OH})_2$	Bleu	solide		

Tableau 5 – Les formules chimiques et quelques propriétés des corps chimiques

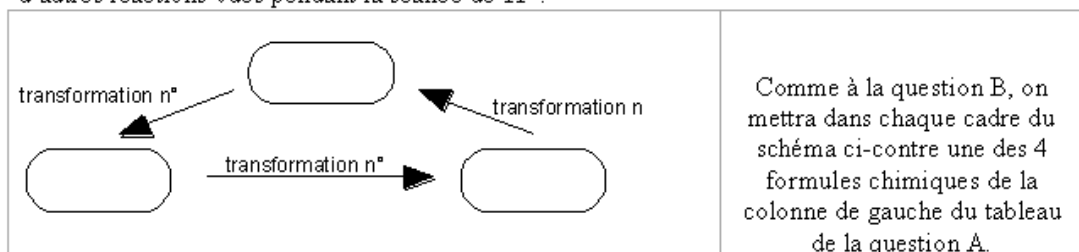
Une fois le tableau rempli, les élèves devaient réutiliser l'analogie des Blinks pour décrire ces nouvelles transformations

B - Deux transformations chimiques vues pendant cette séance de TP peuvent être symbolisées ainsi :



Préciser lesquelles en rappelant leur n° au dessus de la flèche correspondante.

C - A l'image de ce qui vient d'être symbolisé, il est possible de faire le cycle ci-dessous avec d'autres réactions vues pendant la séance de TP :



Compléter ce schéma en précisant les formules chimiques des corps mis en jeu ainsi que le n° des transformations chimiques.]

et répondre à la question : « De même que les boîtes de Blinks illustrent l'une des transformations chimiques de la question **B**, proposer, toujours à l'aide de Blinks, une illustration des transformations chimiques de la question **C**. » Les 31 comptes rendus font effectivement apparaître des représentations de type Blinks (annexe 8 document 8 b). Nous avons cherché à savoir si l'utilisation que les élèves en font laisse apparaître la relation avec la réaction chimique, et la conservation / non-conservation de certains critères propres aux transformations chimiques. Nous avons considéré que la relation avec les réactions chimiques était effective (23 sur 31 comptes rendus voir annexe) soit quand les élèves ont mis sur le même schéma des Blinks et des symboles chimiques (20 sur 31 ; voir Figure 4),

soit s'ils ont réutilisé la numérotation des réactions chimiques (8 sur 31 ; voir figure 5). Certains ont les deux critères.

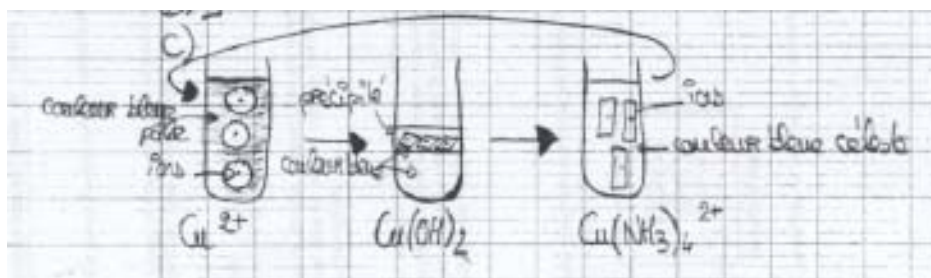


Figure 4 – Mise en correspondance de l'analogie des Blinks avec les symboles chimiques.

Les critères de conservation, notion essentielle, touchent à la quantité de Blinks utilisée, et au fait que, s'ils ont un noyau dans une représentation, tous doivent l'avoir. Nous avons observé que 25 des 31 comptes rendus conservent le même nombre de Blinks et 30 conservent le noyau. Les raisons pour lesquelles les élèves n'ont pas respecté la conservation du nombre de Blinks sont variées. Le non respect 'simple' est exceptionnel (Fig.5). En revanche, la non-conservation intervient notamment quand l'élève a cherché à étendre l'analogie à d'autres éléments chimiques que le cuivre (Fig.6). Cela peut être mis en relation avec l'absence de généralisation à d'autres éléments chimiques à ce stade de l'enseignement.

L'utilisation de l'analogie permet donc de comprendre l'essentiel de la notion de conservation même si sa mise en forme n'est pas générale dans les cas difficiles. Elle montre la limite de l'utilisation des Blinks, à savoir que si plusieurs éléments chimiques peuvent être simultanément représentés avec leur caractère conservatif sur un même schéma, ceux appartenant au solvant (H et O) peuvent ne pas l'être. Bien que cette limite de l'analogie apparaisse dans les productions des élèves, nous n'avons vu aucun des enseignants la reprendre en classe entière.

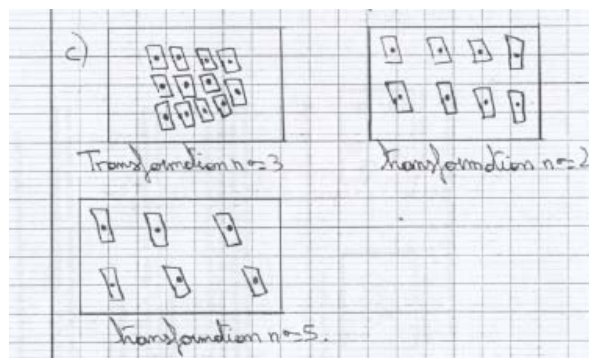


Figure 5 – Schéma d'élève montrant le non respect de la conservation (cas rare).

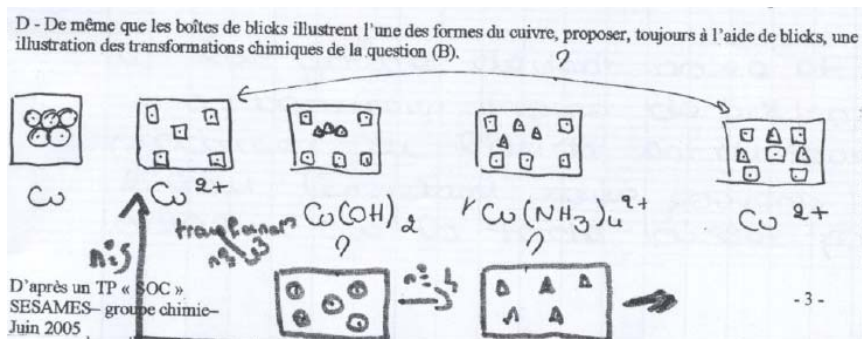


Figure 6 – Schéma d'élève montrant le respect de la conservation pour Cu et le non respect pour d'autres éléments chimiques.

La représentation d'une transformation doit nécessairement faire apparaître certaines non-conservations, comme la représentation du changement d'état physique dû à la formation ou à la redissolution d'un précipité dans les exemples qui nous concernent. Nous nous sommes posé la question de savoir si la dispersion des ions en solution, comparée à la phase condensée que représente le précipité, a été prise en compte par les élèves dans l'analogie des Blinks. Nous avons constaté que 30 des 31 comptes rendus (97%) ont proposé des modifications d'espacements, et que 26 d'entre eux (84%) ont modifié la forme des Blinks. Parmi ceux-là, 17 (51%) ont fait correspondre l'état condensé du précipité avec des Blinks au contact, et l'état en solution avec des Blinks dispersés (Figure.4), comme s'ils avaient décodé d'eux-mêmes cette correspondance sur l'analogie donnée dans le TP. Les quelques éléments, sur le modèle particulière de la matière, enseignés au collège, en particulier sur les solides et les liquides, ont dû être activés lors de ce travail. En revanche, sur l'exemple de la figure 4, les espacements sont variables, mais pas en correspondance avec le changement d'état, et la forme des Blinks est la même avant et après. Ajoutées à ce qui a été dit précédemment sur le réinvestissement des Blinks, ces informations montrent que l'analogie permet de donner du sens à des transformations chimiques, en respectant la conservation et la non-conservation de certaines notions qui comptent pour le chimiste.

Les enseignants et la séquence innovante

Le travail des enseignants lors de cette séquence a été observé afin d'analyser leur gestion d'une séquence largement innovante. D'une part, il n'est pas habituel d'enseigner la notion d'élément chimique au sens strict. Des formes hybrides de cette notion apparaissent fréquemment. D'autre part, l'analogie proposée pour la transformation chimique n'avait pas été utilisée auparavant, en tout cas pas par ces collègues. La façon dont ceux-ci reprennent

les informations du TP et de l'analogie pour introduire la notion d'élément chimique constitue le centre d'intérêt de cette sous partie.

Une dizaine d'enseignants ont été impliqués dans la préparation, la réalisation et l'amélioration de cette activité au cours d'une douzaine d'années. Trois ont souhaité fournir des explications à l'ensemble de la classe juste après la question 6, quitte à ce que les élèves ne terminent pas la totalité du travail demandé lors de la séance. Deux d'entre eux (H et M) ont été filmés pendant cette explication. Six enregistrements sont ainsi disponibles (annexe 5 documents 5a, b, c, d, e et f). Un septième a été réalisé avec un autre enseignant (D) qui a regroupé l'ensemble de ses commentaires dans la séance suivante (annexe 5 document 5 g).

Réutilisation de la situation expérimentale et de l'analogie par l'enseignant

Lors de la séance de débriefing, les trois enseignants ont commencé par reprendre l'analogie et la situation expérimentale avant d'introduire la notion d'élément chimique. Dans la discussion de classe qui précède cette introduction, nous avons constaté que l'enseignant fait intervenir les Blinks en tant qu'objet. Il évoque leur forme, leur nombre, leur structure : « ils sont collés / ils sont des êtres imaginaires / ce sont des choses différentes ». De plus, cette évocation est en relation avec la transformation et la conservation : « le contenu de la boîte s'est transformé là on a fait des transformations est ce qu'on peut raisonner un peu de la même façon / ça veut dire qu'est ce qui s'est conservé qu'est ce qui ne s'est pas conservé pendant la transformation et on parle de quelle transformation ». Cette discussion fut de durée variable mais a toujours eu lieu. En revanche, les connaissances impliquées : la non-conservation et la conservation du cuivre, la contradiction qui en résulte et l'introduction de la notion d'élément chimique qui vient ensuite, ont profondément différées entre ces enseignants. L'enseignant H, enregistré quatre fois en deux ans, a fait intervenir toutes ces notions dans cet ordre. L'enseignant M, enregistré deux fois la même année, n'a pas explicité la contradiction, pas plus que l'enseignant D qui n'a également pas parlé de conservation avant d'introduire la notion d'élément chimique. Les extraits ci-dessous (tableau 6 et 7) montrent deux exemples où la gestion de ces connaissances permet d'explicitier la polysémie, et un troisième où ce n'est pas le cas.

Prof D : ... qu'est-ce qui se conserve ?
 Elève : le cuivre
 Prof D : cuivre métallique (?)
 Elève : non
 Prof D : non / l'ion cuivre (?)
 Elève : non
 Prof D : l'atome de cuivre (?)
 Elève : non
 Prof D : pourquoi non (?)
 Elève : parce que ce n'est pas l'ion c'est le mot
 Prof D : le mot effectivement c'est vrai que le mot cuivre qui se conserve et puisque c'est le mot cuivre qui se conserve on va dire que c'est l'élément cuivre qui se conserve ben il faut que certains d'entre vous restent conscients que l'élément cuivre peut avoir plusieurs forme
 Elève : *métallique*
 Prof D : il peut être métallique C u il peut être sous forme d'ion Cu²⁺ ...

Tableau 6 – Extrait de la transcription de l'enseignant D en explicitant la polysémie.

L'enseignant H (tableau 7) distingue bien le cuivre métal, ion, atome, avant de rebondir sur ce qu'a dit l'élève « le mot » et d'introduire la notion d'élément chimique. En ce sens, il gère la polysémie du mot cuivre. Un autre enseignant l'a également bien géré, en distinguant le « morceau de cuivre » qui ne se conserve pas, et le besoin d'un « mot nouveau ».

Prof H : ...on ne peut pas dire le morceau de cuivre s'est conservé est ce qu'on peut dire ça (?)
 Elève : *non*
 Prof H : parce qu'il a disparu mais le cuivre quand même il est toujours là / donc il va nous falloir un nouveau mot parce que c'était le problème de Sandrine tout à l'heure il [le cuivre métallique] n'est plus là mais en même temps il y en a encore / ça veut dire quoi pour dire il a changé de forme quelque soit la forme on a dire que l'élément chimique cuivre s'est conservé d'accord l'élément chimique cuivre s'est conservé au cours de la transformation

Tableau 7 – Extrait de la transcription de l'enseignant H en explicitant la polysémie.

Dans un troisième cas (tableau 8), l'enseignant semble ne pas réussir à être clair sur la distinction entre les différents sens du mot cuivre quand il dit :

Prof M : Les gouttes sur la plaque ça forme du cuivre^(A) / donc on le^(B) voit réapparaître sous la forme solide de nouveau et on le^(C) reconnaît à sa couleur jaune orangé car la solution elle n'était pas sous une forme de couleur jaune orangé / donc le cuivre^(D) a changé de forme...

Tableau 8 – Extrait de la transcription de l'enseignant M ayant la difficulté de gérer la polysémie.

Dans cet extrait (tableau 8) le cuivre en A, B et C correspond au métal, alors qu'en D il s'agit de l'élément chimique cuivre. En effet, le métal ne change pas de forme, du moins pas avec ce sens du mot forme, alors que l'élément chimique, si. Ainsi, la distinction métal / élément chimique n'apparaît pas dans ce discours et, pour l'élève, il y a toutes les chances

pour qu'il s'agisse, même en D, de cuivre métallique. Cet extrait fait donc apparaître toute la difficulté de gérer en permanence la polysémie du terme cuivre.

De même on trouve dans plusieurs manuels scolaires ce genre de confusion citons par exemple dans Nathan : 1997 2^{nde} Physique chimie la phrase suivante « *Malgré les aspects différents que revêtent ces diverses formes du cuivre(*), on peut dire qu'elles contiennent toutes l'élément chimique cuivre.* » En (*), quel est le sens réel de terme cuivre, si ce n'est élément chimique cuivre ? Aussi, la phrase est-elle : Malgré les aspects différents que revêtent ces diverses formes de [l'élément chimique] cuivre, on peut dire qu'elles contiennent toutes l'élément chimique cuivre, qui n'apporte aucune information. Pour l'élève, cette phrase signifie que le [métal] cuivre est sous diverses formes, ce qui n'est pas ce qu'il faut lui enseigner. De même dans le même manuel la phrase suivante « *Le cuivre(A) sous forme(B) solide est le composant principal des casseroles de nos grands-mères, des fils électriques et des tuyaux d'alimentation en eau des maisons. Il(C) apparaît également sous d'autres formes(D).* » Plusieurs ambiguïtés dans cette phrase de Nathan (2004). Le cuivre (A) est pour l'élève le métal cuivre, confirmé par le fait qu'on lui parle de casserole, de fil ou de tuyau. Le « Il » (C) se réfère à ce même cuivre, et le fait qu'« il » soit sous d'autres formes peut, pour l'élève, certainement faire penser à d'autres objets en cuivre. Pour l'auteur, il s'agit de formes de l'élément chimique, ce qui ne peut être compris de l'élève. Cette ambiguïté montre à quel point il est difficile de s'exprimer quand il s'agit d'introduire la notion d'élément chimique.

Introduction de la notion d'élément chimique

Le moment de l'introduction de la notion d'élément chimique, est particulier. Les enseignants, qui avaient installé un dialogue avec la classe, prennent à ce moment la parole pour une intervention largement plus longue que la moyenne. Parfois même la plus longue de toutes (annexe 9 document 9 a et b). Le graphe de la figure 7 est caractéristique de cette pratique. Il représente la longueur (en nombre de caractères annexe 5 document 5a') de chacune des transcriptions d'interventions (ou tours de parole) d'un des quatre enregistrements de l'enseignant H (corrigé 1 en 2005). La prise de parole de loin la plus longue est la 113^e, où la notion d'élément chimique a été introduite. Cette intervention fait office de conclusion de l'utilisation de l'analogie.

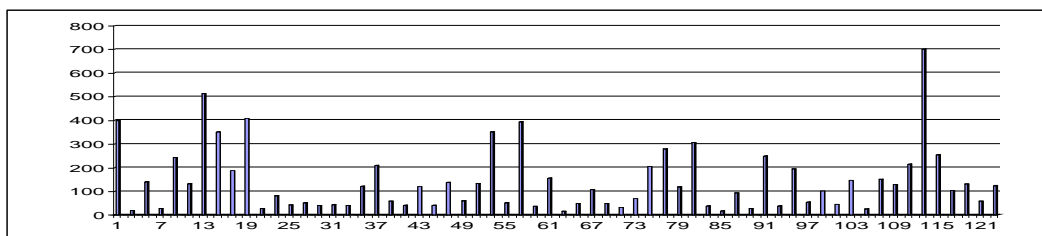


Figure 7 – Longueur de chaque intervention (tour de parole) du enseignant H pendant le corrigé (corrigé 1 en 2005) de l'activité.

Le contenu de cette intervention introductive de la notion d'élément chimique apparaît comme une synthèse de ce que la classe a débattu auparavant. Quel que soit l'enseignant H, M ou D, cette intervention met en jeu différentes idées parmi (annexe 9 document 9c): la notion de réapparition du cuivre, la couleur bleue de la solution utilisée, l'analogie des Blinks, le fait que le cuivre change de forme, que quelque chose se conserve, et les mots que les élèves avaient utilisés pour exprimer la notion manquante d'élément chimique. Le tableau 9 indique la mise en œuvre de ces idées pour chaque enseignant. D'après ce tableau (tableau 9) on peut remarquer l'utilisation par tous les enseignants (H, M et D) de deux notions : celle de conservation et de changement de forme. les enseignants mettent en jeu différentes autres notions par exemple l'enseignant H met en jeu en plus de ces 2 notions en 2005 la solution bleue dans le premier corrigé, des mots d'élèves dans le deuxième corrigé, tandis qu'en 2006 il utilisait les mots d'élèves dans son premier corrigé, la solution bleue et le modèle des Blinks dans son deuxième corrigé. L'enseignant M parlait de réapparition de cuivre et solution bleue dans son premier corrigé, de modèle de Blinks dans le deuxième corrigé. L'enseignant D dans son corrigé en classe entière parlait de mots d'élèves en plus de la conservation et de changement de forme.

	H105 ⁹	H205	H106	H206	M105	M205	D106
Réapparition du cuivre					×		
Solution bleue	×			×	×		
Blinks modèle				×		×	
Cu change de forme	×	×	×	×	×	×	×
Quelque chose se conserve	×	×	×	×	×	×	×
Les mots des élèves		×	×				×

Tableau 9 – utilisation par les enseignants H, M et D de différents thèmes lors de leur intervention où la notion d'élément chimique est introduite.

Donnons un exemple de catégorisation, (les catégorisations des autres enseignants se trouvent en annexe) : dans le deuxième corrigé de l'enseignant H en 2006 « T109 Prof : *sous quelle forme il est d'accord mais si on a du cuivre solide ou si on a du cuivre en solution c'est toujours du cuivre / donc on va dire en faite que l'élément cuivre s'est conservé et l'élément cuivre on sait maintenant il peut prendre plusieurs formes / d'accord donc au cours de la transformation l'élément cuivre s'est conservé / quel lien on a fait avec les Blinks* ». Dans ce petit extrait l'enseignant H met en jeu la solution bleue (cuivre en solution), les Blinks comme modèle (quel lien on a fait avec le cuivre), le changement de forme (prend plusieurs formes), ainsi que la conservation (c'est toujours du cuivre, l'élément cuivre s'est conservé).

Nous constatons une grande variabilité, d'un enseignant à l'autre, et même d'un enseignant avec lui-même dans une séance effectuée le même jour (H106 et H206), ou d'une année sur

⁹ H105 indique qu'il s'agit du 1^{er} enregistrement de l'enseignant H en 2005.

l'autre (H105 et H206). Seules les notions de changement de forme ou de conservation sont communes à tous.

L'ensemble des résultats présentés dans cette partie permet de conclure que l'analogie fonctionne. Les élèves ont effectivement utilisés ses différents attributs et ont pu la réinvestir dans une autre situation, tout en prenant en compte d'anciennes connaissances sur le modèle particulière et les différents états de la matière. Les observations expérimentales ont également été utilisées en relation avec l'analogie, même s'il n'est pas évident que les élèves reconnaissent en elles l'indice que le cuivre ait été conservé. Ceci était pourtant pris pour acquis dans les différentes publications impliquant cette méthode pédagogique. L'analogie a donc le plus souvent joué son rôle de modèle temporaire. La polysémie du cuivre a largement pu être mise à profit pour que de nombreux élèves fassent émerger le besoin d'un nouveau concept que l'enseignant a institutionnalisé sous le nom d'élément chimique. Une notation symbolique a été en même temps introduite et les élèves ont pu l'utiliser en lui donnant du sens, ce qui est reconnu comme une difficulté. Lors du bilan, les enseignants ont pu éprouver des difficultés pour rassembler l'ensemble des connaissances avant d'introduire la notion d'élément chimique, et cette introduction n'a pas toujours pu respecter la polysémie du terme « cuivre ». Cette séquence d'enseignement possède donc un réel potentiel, mais qui n'est pas simple à gérer.

Après l'introduction de la notion d'élément chimique

Après l'introduction de la notion d'élément chimique, ce qui s'est passé a éminemment dépendu de la gestion du temps des séances. Pour toutes les fois où nous avons des données, nous constatons que l'enseignant réutilise la notion récemment introduite, mais en se limitant à l'élément chimique cuivre, refaisant éventuellement un lien avec les Blinks. Par exemple, la transcription de H106 met en évidence que l'enseignant H remplit le tableau 4 collectivement avec la classe. C'est l'occasion de multiples utilisations de la notion d'élément chimique qui vient d'être introduite. C'est également l'occasion d'utiliser précisément les notions de métal cuivre, d'ion cuivre et d'élément chimique cuivre. On constate, dans la transcription, que l'enseignante confirme ou corrige les dire des élèves qui mettent en jeu ces notions. Ses interventions sont alors courtes et précises comme, dans la figure 8, les interventions 153, 161 etc....

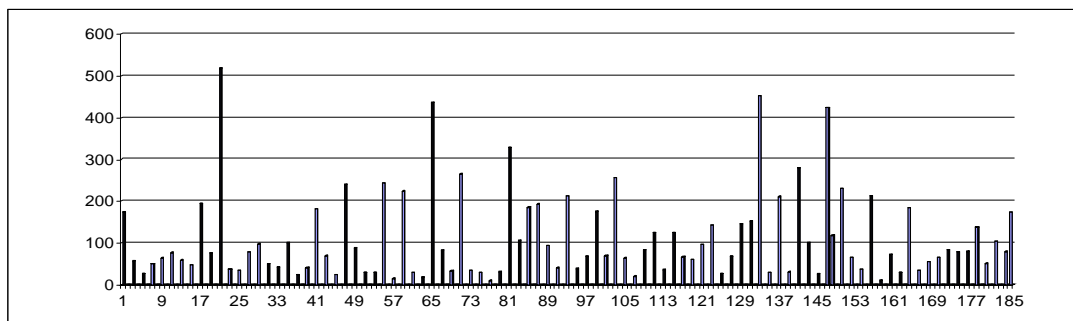


Figure 8 - Longueur de chaque intervention de l'enseignant H pendant le corrigé (corrigé en 2006) de l'activité.

Il faudra attendre les séances suivantes pour que les élèves entendent parler de la conservation d'autres éléments chimiques. C'est regrettable car la nouvelle catégorie a été créée pour un unique élément chimique. Cette incontournable difficulté est liée à la segmentation de l'enseignement scolaire en unités parfois trop courtes. Après avoir été introduite, la généralisation de la notion d'élément chimique s'est donc opérée en deux temps : (i) l'élément chimique cuivre se conserve dans toutes les réactions chimiques – généralisation appartenant à la séance étudiée ; (ii) tous les éléments chimiques se conservent lors des transformations chimiques – généralisation qui attend d'autres séances. Ces autres séances utilisent la structure de l'atome qui est reliée à la notion d'élément chimique, et la classification périodique (Le Maréchal et coll., 2007) qui permet d'avoir la liste de la totalité des éléments chimiques.

Discussions et implications pour l'enseignement

Les résultats proposés ci-dessus sont discutés suivant trois thèmes : les conceptions des élèves, la notion d'élément chimique, et celle de conservation.

Les Conceptions des élèves sur la transformation chimique

Les termes « évaporés » et « liquide » qui apparaissent dans les transcriptions (résultats sortie de la contradiction) semblent empruntés au cadre des changements d'états plus qu'à celui de la transformation chimique. Cependant, les travaux d'Ahtee et Varjola (1998) ont montré que, au début du collège (grade 7, 13 ans) seuls 12% des élèves et ensuite 4% l'année suivante produisaient un exemple de changement d'état comme réaction chimique. On peut donc douter que nos élèves de 16 ans activent toujours cette conception. En ce qui concerne le terme « évaporé », il peut simplement signifier « disparaître », comme l'indique Krnel et al. (1998) dans le cas de l'interprétation de réactions chimiques. En ce qui concerne les termes « liquide », nous pensons qu'il ne faut pas s'arrêter à son sens physicochimique

précis. Il est peu probable qu'ils aient en tête que la réaction du cuivre avec l'acide nitrique soit de même nature que la fusion de la glace. En effet, si leur terme « liquide » est changé en « solution », concept qu'ils étudieront quelques mois après, leur phrase « le cuivre passe du solide au liquide » se reformule en « le cuivre passe du solide à la solution ». Sachant que le terme « cuivre » vaut, à cause de sa polysémie, aussi bien pour le métal que pour l'élément chimique, leur phrase traduit en fait maladroitement une idée parfaitement acceptable.

Une analyse du mot « fusionné », mal utilisé par les élèves, permet non seulement de réfuter la confusion avec le changement d'état (fusion du cuivre solide), mais également renseigne sur le point de vue que ces élèves ont de la transformation chimique. Le verbe fusionner signifie également unir, par exemple dans : quelque chose fusionne dans quelque chose, au sens où il s'unit pour donner autre chose. Pour les élèves (voir la transcription du binôme dans le tableau 2), « le cuivre fusionne avec l'acide nitrique » traduit donc un point de vue intéressant sur la réaction. S'ils ont en tête un rapprochement des deux réactifs pour donner autre chose, ils sont proches de l'idée acceptée de réaction chimique. Notre interprétation est en accord avec un point de vue constructiviste de l'apprentissage. Il connaît le mot « liquide » et pas le mot « solution », il s'exprime avec le mot « fusionne » pour un sens qui existe, et c'est avec cela qu'il parle des notions en construction de réaction chimique et d'élément chimique.

L'élément chimique

Difficulté des enseignants

Ce n'est pas parce que le cuivre métallique a pu disparaître et réapparaître qu'on peut être convaincu que quelque chose en rapport avec lui a toujours été présent. Nombre de contre-exemples pourraient être fournis, ainsi, les arbres perdent leurs feuilles à l'automne et en retrouvent au printemps sans que celles-ci se conservent. Or, dans leur discours, les enseignants semblent prendre pour acquis que l'expérience « démontre » la permanence de quelque chose : *« on ne peut pas dire le morceau de cuivre s'est conservé est ce qu'on peut dire ça / non parce qu'il a disparu mais le cuivre quand même il est toujours là »*. Cela ne permet pas non plus d'affirmer que le cuivre est un élément chimique. Par exemple, de l'eau peut disparaître au cours d'une première réaction chimique (hydrolyse d'un ester) et réapparaître au cours d'une seconde (combustion des produits de l'hydrolyse) alors qu'elle n'est pas un élément chimique.

L'utilisation d'un tel discours n'est pas rationnelle, probablement parce qu'il n'est pas précisé s'il s'agit d'une conservation au sens commun (piagétien) ou scientifique (construite au sein d'un modèle).

Les enseignants auraient été certainement plus convaincants s'ils avaient séparé leur discours en deux phases : (a) nous avons vu que le cuivre métallique a disparu puis est réapparu, et

(b) le chimiste interprète cela avec la notion d'élément chimique qui traduit la conservation de quelque chose pendant les transformations. La première phase est une activité de monstration (Johsua & Johsua, 1988 ; Johsua & Dupin, 2003), et la seconde est une interprétation dont les mots clés « conservation » et « transformation » ont, grâce à l'analogie, un sens commun pour la classe. Nos enseignants n'ont pas adopté cette présentation, indiquant le manque de confort au moment de la délicate introduction de la notion d'élément chimique.

Le sens donné par les élèves aux observations et aux symboles

Certaines publications (Durandeau, 1993 ; Laugier et Dumon 2000 ; 2003) proposent d'introduire la notion d'élément chimique suite à une série de transformations chimiques : $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CuO} \rightarrow \text{Cu}$. Nous appelons cela un cycle long. Cycle car on part du cuivre pour y revenir. Long par rapport au cycle $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}$ utilisé ici. Des entretiens avec des enseignants partisans de l'approche cycle long montrent que, par rapport à notre proposition, les élèves ont l'occasion de plus manipuler. Ils montrent également que l'organisation du débat introductif à la notion d'élément chimique s'appuie sur l'écriture de formules chimiques (comme au début de ce paragraphe). Il ne peut pas en être autrement pour s'y retrouver dans cette multiplicité de transformations, chacune correspondant à une série d'événements difficilement mémorisables (Pekdag & Le Maréchal, 2007). Plusieurs problèmes se posent alors : (a) l'écriture chimique telle que Cu ou $\text{Cu}(\text{OH})_2$ est une écriture basée sur des symboles d'éléments chimiques, or c'est précisément la notion que l'on cherche à introduire. Cette pétition de principe nous apparaît quelque peu captieuse. (b) Du point de vue de l'élève, ce qui se conserve n'est probablement autre que le symbole Cu et non la notion d'élément chimique. L'enseignant s'en satisfera, pensant que l'élève a compris la notion sensible, alors que celui-ci n'a peut-être que constaté la présence des deux lettres C et u dans les différentes formules. (c) Notre analyse a montré qu'il était essentiel de gérer la polysémie du terme *cuivre*, et il n'en est rien dans cette approche. (d) Nous avons constaté la difficulté que les élèves avaient à gérer les événements chimiques de deux transformations, quid de trois, voire quatre ! (e) Enfin, après deux transformations la moitié des comptes rendus rapportent que quelque chose en rapport avec le *cuivre* se conservait. Rien n'indique qu'après quatre transformations, cette difficulté s'améliore. L'utilisation d'un cycle long apparaît donc difficilement utilisable si l'objectif pédagogique est plus orienté sur l'introduction de la notion d'élément chimique que sur les manipulations expérimentales.

La question de l'opportunité de respecter le programme officiel qui demande d'introduire l'élément chimique avec une approche expérimentale reste entière. Certes l'approche des Blinks est une possibilité qui semble validée. Pour autant, il ne faut pas ignorer la difficulté que les enseignants éprouvent à la gérer. L'alternative d'introduire l'élément chimique par le

biais de l'atomistique, en définissant l'élément chimique par son nombre de protons, reste toujours une éventualité.

L'élément chimique avec une approche expérimentale

La question de l'opportunité de respecter le programme officiel qui demande d'introduire l'élément chimique avec une approche expérimentale reste entière. Certes l'approche des Blinks est une possibilité qui semble validée. Pour autant, il ne faut pas ignorer la difficulté que les enseignants éprouvent à la gérer. L'alternative d'introduire l'élément chimique par le biais de l'atomistique, en définissant l'élément chimique par son nombre de protons, reste toujours une éventualité.

Analogie et conservation

L'analogie utilisée précédemment a non seulement permis d'activer la notion de conservation / non-conservation, mais a également servi d'outil de représentation de concepts en cours de construction, comme ceux liés à la structure de la matière ou à la transformation chimique. Pour les élèves qui se satisfont de fournir des explications en fournissant des analogies avec les événements de la vie quotidienne et qui pensent que l'enseignant ne fait qu'ajouter des mots originaux (« *fancy words* » ; Hesse & Anderson, 1992), l'usage d'une analogie plus construite, comme celle des Blinks, est donc un intermédiaire entre l'explication naïve et l'explication scientifique. Cette analogie permet ainsi la construction d'images mentales réutilisables avec profit.

Efficacité de l'analogie

L'analogie est souvent utilisée en chimie. Par exemple, 74 titres du *Journal of Chemical Education* contiennent le terme *analogy*. Il semble qu'à chaque fois, l'analogie porte sur le concept qu'il faut apprendre, en aidant l'élève à construire un modèle mental limité mais performant (Glynn & Takahashi, 1998). Dans notre cas, ce n'est pas le concept d'élément chimique qui a été traité avec un analogue, mais celui de transformation chimique afin d'attirer l'attention sur la notion de conservation. Une telle approche n'est pas courante dans l'utilisation des analogies et a semblé pertinente ici.

Les résultats ci-dessus ont montré que la situation des Blinks, pour naïve qu'elle paraisse, accompagne effectivement l'élève dans son apprentissage. Cela peut s'expliquer par le fait que les formes de mémoire les plus efficaces sont celles de natures visuelles et affectives (Richaudeau, 1999, p.147). Cela conduit à associer à des objets abstraits des objets concrets, visualisables et éventuellement personnels. Les Blinks ont à ce titre de nombreux atouts pour être mémorisés, en ce qu'ils permettent de visualiser une transformation chimique à

l'aide de représentations dont les attributs ont des points communs avec la notion d'éléments chimiques.

L'activité de catégorisation dans l'enseignement

La création de catégories est rarement considérée par les enseignants comme une activité centrale. Et dans le cas de l'élément chimique moins qu'ailleurs, puisque cette notion est pas perçue comme tel. Ainsi, les phrases du type « T est un V » nécessite que l'esprit cherche si la catégorie V à laquelle T peut appartenir est connue. Si la catégorie V est effectivement reconnue, l'entité T est ajoutée comme élément de la catégorie, sinon, la catégorie V doit être construite avec un premier élément T (Tijus, 2001 p.171-173). Ce type de catégorie attributive est largement utilisé sur le plan cognitif. Par exemple, mettre un nouvel élément dans une catégorie préexistante est une activité différente que de créer une nouvelle catégorie avec des éléments connus. Ainsi, dire à l'élève que le titane (inconnu) est un métal (catégorie connue) pose moins de problème que de déclarer que le cuivre (connu) est un élément chimique (catégorie inconnue).

Le curriculum suggère de créer la catégorie d'élément chimique en TP à partir d'un unique élément. Le côté systématique d'une propriété d'appartenance à une catégorie aidant à la construction de celle-ci, les élèves ne peuvent donc construire de sens à cette notion avec ce seul TP. Multiplier les exemples d'éléments chimiques et varier les situations pour généraliser cette notion est donc une priorité. La généralisation doit s'opérer en deux temps : (a) l'élément chimique cuivre se conserve dans toutes les réactions chimiques – généralisation appartenant à la séance étudiée ; et (b) tous les éléments chimiques se conservent lors des transformations chimiques – généralisation qui attend d'autres séances en relation avec la structure de l'atome et la classification périodique (Le Maréchal et coll., 2007).

La polysémie

La gestion du lexique est une question qui a interrogé de nombreuses recherches en didactique, en particulier dans les domaines de la mécanique et de l'optique où des termes du vocabulaire courant sont redéfinis par le scientifique. Ainsi, le mot force doit-il faire l'objet d'un changement ontologique pour passer du terme courant, qui est une caractéristique d'une personne (j'ai de la force), à une grandeur d'interaction entre deux objets (Chi et al. 1994). En optique, le terme image, défini comme ce qui est créé par l'intersection des rayons lumineux, correspond dans le vocabulaire courant à « image nette », ce qui empêche l'utilisation scientifique du syntagme « image floue » (Buty, 2004). En chimie, l'introduction de la notion d'équilibre doit aussi faire l'objet d'une reconstruction du sens (Boo, 1998 ; Boo et Watson 2001 ; Roux et Le Maréchal, 2003 ; Chiu et al. 2002). Ces recherches se sont essentiellement basées sur la notion didactique de conception. Notre approche a été

différente par le fait que la polysémie du terme cuivre fait intervenir le syntagme « élément chimique » qui n'a pas d'usage dans le lexique courant. Comme le fait remarquer Taber (2001), les phénomènes de la chimie, qui ne sont pas observables, ne conduisent pas aux mêmes types de conceptions que ce que l'on peut attendre en physique ou en biologie, ce à quoi nous ajoutons : quand les concepts et/ou les termes qui les décrivent ne font pas partie de la vie quotidienne.

Faire prendre en charge la polysémie d'un terme par un enseignant n'est pas simple, et expose le collègue à la facile critique de vouloir couper les cheveux en quatre. Hofstadter (2001), dans sa *Stanford Lecture*, compare cette situation à celle de l'apprentissage d'une langue étrangère quand un unique mot de la langue maternelle doit être traduit, suivant le sens, par un mot ou par un autre. Par exemple, tous ceux qui ont appris l'Anglais à l'école doivent se souvenir des âpres moments passés à gérer la traduction du verbe faire (*do* ou *make*). Avec la pratique cependant, l'esprit se crée des catégories affinées jusqu'au moment où ce qui paraissait non-naturel et gratuit se met à offrir un contraste intéressant dans sa propre langue. Dans la situation proposée dans notre travail, l'analogie des Blinks et la réflexion qui l'a entourée se sont évertuées à faire en sorte que la prise en compte de la polysémie n'apparaisse pas comme gratuite, mais résulte d'un besoin pour pouvoir analyser les observations. Nous avons vu ci-dessus des exemples où les élèves en étaient parfaitement conscients.

Conclusion

Notre recherche s'est posée la question de l'introduction d'une nouvelle notion dont la propriété centrale met en jeu la conservation au cours d'une transformation chimique en respectant les contraintes imposées par le programme officiel. Cette approche avait déjà fait l'objet de travaux et nous nous sommes positionnés dans le cadre de l'utilisation d'une analogie dont la validation a pris en compte l'activité des élèves et celle de l'enseignant. Nos résultats font apparaître que des difficultés qui ne semblent pas avoir été préalablement prises en compte, en particulier celle liée à la polysémie d'un terme central dans le travail des élèves, ont pu être gérées.

L'approche de l'analogie semble avoir été une voie intéressante, mais pour laquelle la prise en charge pose des difficultés à l'enseignant. En particulier, il semble qu'elle estompe le rôle de la notion de modèle qui met en jeu, en filigrane, la notion de fonctionnement de la science, rarement prise en compte dans l'enseignement. Diffuser cette séquence d'enseignement doit donc s'accompagner de quelques mises en garde. L'intérêt de cette analogie est de prendre en main la totalité de la séquence. Ce n'est pas une simple aide ponctuelle, mais l'installation d'un schéma de pensée et d'un outil d'expression aussi cadré que possible. Nous notons sur cet exemple qu'une analogie n'a nul besoin d'être complexe

pour être utile dans plusieurs situations d'apprentissage. Cette analogie, qui fut qualifiée par certains de naïve, a pu être utilisée autant pour activer les notions de conservation / non-conservation que pour fournir aux élèves un outil leur permettant de représenter une réaction chimique à un stade de l'enseignement délicat, puisqu'intermédiaire pendant l'introduction des concepts et la symbolique qui sert à leur description.

Le travail sur la compréhension de la transformation chimique a été reconnu comme difficile car la conservation des espèces chimiques, et non des éléments chimiques, est une conception profondément ancrée. L'analogie permettait d'apporter des réponses pour faire comprendre ce qui se conserve et ce qui ne se conserve pas pendant une transformation chimique.

Chapitre 4 La classification périodique

Introduction

L'apprentissage d'un concept scientifique implique souvent la construction de relation avec de nombreuses notions (Weil-Barais, 1999) ce qui implique que la mise en place de séquences d'enseignement innovantes ne doit pas être trop courte dans le temps didactique (Buty et al., 2004). Dans le cas où le concept en jeu est aussi central que la réaction chimique, nous proposons dans ce chapitre d'étudier et de décrire une séquence d'enseignement sur la classification périodique. L'originalité de cette séquence est d'essayer de favoriser la mise en oeuvre d'un raisonnement dans l'exploitation d'expériences de chimie. Pour ce faire, il a fallu mettre l'élève en situation d'avoir à argumenter, ce qui a nécessité l'élaboration d'une activité non traditionnelle. Celle-ci est présentée dans ce chapitre. Il est important de bien comprendre, dans ce chapitre, ce qui se passe dans une telle activité afin que, dans la seconde partie de la thèse, le travail du professeur dans la séquence qui suit puisse prendre tout son sens.

Dans ce qui suit nous passerons d'abord en revue les travaux sur la réaction chimique, les différentes notions liées à l'élément chimique, puis nous verrons les difficultés pédagogiques qu'impliquent, comme les instructions officielles recommandent, l'introduction historique du tableau de Mendeleïev, enfin nous proposerons à travers la présentation du texte de la tâche, une façon de prendre en compte les difficultés que nous aurons décrites relativement à l'apprentissage de cette notion importante.

Les travaux de recherche sur la réaction chimique

Le concept de réaction chimique est important dans l'enseignement et dans l'apprentissage de la chimie. Enseigner et apprendre la réaction chimique ont été étudiés avec de nombreux points de vue tel que l'enseignement de ce concept (Gabel, 1998), et en particulier les conceptions des élèves (Driver & al., 1985 ; Andersson, 1986-a, 1990 ; Hesse & Anderson, 1992 ; Nakhleh, 1992 ; Taber, 1998), la difficulté des élèves d'acquérir le concept de réaction chimique sous son aspect dynamique moléculaire (Stavridou & Solomonidou, 2000 ; Cross & al. 1994 ; Gussarsky & Gorodetsky, 1990) ou le changement conceptuel (Stavridou & Solomonidou, 1998; Taber 2001; Pekdag & Le Maréchal, 2001; Laugier & Dumon, 2000). D'autres recherches ont été effectuées afin d'étudier la réorganisation conceptuelle demandée lors de la construction du concept de la réaction chimique chez les

élèves (Stavridou & Solomonidou, 1998 ; Taber 2001 ; Pekdag & Le Maréchal, 2001), et la connaissance conceptuelle de la réaction chimique lors du passage de l'aspect macroscopique vers l'aspect microscopique (Laugier & Dumon 2000). D'autres études ont été faites sur le raisonnement et la difficulté des élèves de distinguer entre transformation et réaction chimique, le point de vue des enseignants (Kermen, 2007) et l'importance des TICE dans l'enseignement de la réaction chimique ainsi que dans l'apprentissage des élèves de lycée (El Bilani, 2007, El Bilani à paraître). Enfin, nous notons que la réaction chimique est un concept d'une grande complexité que l'enseignant suppose souvent à tort maîtrisé par les élèves (Rebaud, 1994).

D'après ce que nous savons, l'argumentation n'a pas été abordée au cours de l'enseignement de la réaction chimique et les études sur l'apprentissage. Afin d'élaborer un tel projet, nous avons dû construire des situations d'enseignement où les étudiants doivent être impliqués dans le raisonnement causal et le développement de l'argumentation.

Les champs conceptuels de l'élément chimique

La science est ainsi construite que chaque concept scientifique qui sert à sa description se retrouve lié à une variété de situations expérimentales et théoriques. Celles-ci sont bien en relation dans la tête des enseignants, mais les élèves les découvrent de façon segmentée. Pour aider ces derniers à s'y retrouver, il faut de temps en temps impliquer ces concepts dans une réflexion aussi globale que possible. Dans le cas de l'élément chimique, la difficulté pour l'enseignant d'organiser cette réflexion est accrue par les finesses qui entourent sa définition. Viovy et Martinand ont montré la difficulté (historique et pédagogique) de distinguer cette notion de celle du corps simple (Martinaud et Viovy, 1979 ; Viovy, 1984). Il nous est apparu opportun de revenir sur ces difficultés avec un nouveau point de vue. Nous allons les considérer en relation avec la classification périodique, c'est-à-dire à la fin de la partie 2 du programme de Seconde sur la structure de la matière.

De notre point de vue, la difficulté essentielle d'enseigner la notion d'élément chimique tient au fait que trois approches différentes se succèdent, en classe de Seconde. Chacune d'elles met en jeu un ensemble de concepts appelé champ conceptuel. Nous pouvons imaginer qu'un élève est susceptible d'apprendre à utiliser la notion d'élément chimique dans chaque champ conceptuel sans pour autant être capable de les relier entre eux. Il appartient à l'enseignant lors du débriefing de prendre en charge les relations entre ces différents champs qui peuvent être définis comme suit :

- ✗ Le premier d'entre eux est celui de la conservation au cours d'une transformation chimique, connaissance fort utile quand, à la fin de l'année de Seconde, l'étude de la réaction chimique est abordée avec une approche quantitative. De nombreux concepts sont liés à cette conservation, par exemple : si l'élément chimique est

initialement présent, il l'est à la fin de la transformation ; s'il est absent en fin de transformation, c'est qu'il n'était pas initialement présent ; les symboles des éléments chimiques servent pour cette raison à représenter les réactions chimiques, etc. Apprendre ces concepts et notions s'accompagne d'une série d'exercices d'application ciblés.

- ✗ Un deuxième champ conceptuel concerne la structure de l'atome, reliée au concept d'élément chimique via le nombre de protons contenus dans le noyau. Cela implique qu'il faut savoir raisonner sur les nucléons et leur masse. L'élève dispose pour cela d'une autre série d'exercices.
- ✗ Le troisième champ conceptuel impliquant l'élément chimique est lié à la classification périodique, dont l'objet est d'ordonner les éléments chimiques de façon à proposer au chimiste un outil de prédiction et d'interprétation performant. L'élève doit donc apprendre à ce sujet les notions de ligne et de colonne, de relation avec la charge des ions monoatomiques, et de similarité des comportements au cours des réactions chimiques. Il dispose pour cela d'une troisième série d'exercices.

La difficulté majeure de l'apprentissage est, selon nous, de savoir si l'élève peut parfaire ses connaissances sur la notion d'élément chimique sans mettre en relation ces trois séries d'exercices. Notre réponse est « non », sans hésiter car une notion appartenant à différents champs conceptuels ne prend son sens, pendant l'apprentissage, que lorsque l'élève établit suffisamment de relations entre toutes les connaissances concernées.

Histoire de la classification périodique et apprentissage

Nous défendons l'intérêt de l'histoire des sciences, source d'ouverture interdisciplinaire, de prise de distance sur la connaissance, et de motivation pour les élèves. Cependant, ce n'est pas parce qu'une telle approche est intéressante qu'elle aide à l'apprentissage, et dans le cas de la classification périodique, certains pièges peuvent être considérés comme redoutables pour la construction du sens de la notion d'élément chimique. La découverte de celle-ci est attribuée à Lavoisier et, bien que sa contribution au développement de la chimie soit immense, la définition qu'il donne de l'élément chimique est purement expérimentale (Bensaude-Vincent, 1984). Il faut prendre conscience que ce que Lavoisier appelle « élément chimique » est, dans notre enseignement, proche d'« espèce chimique » ou de « corps simple ». Dans sa définition, l'élément chimique constitue « le dernier terme auquel parvient l'analyse », c'est-à-dire l'échantillon obtenu par décomposition d'un composé chimique, à savoir ce qui correspond à un corps simple. Les lois qu'il énonce au sujet de ce concept sont des lois de conservation (i) qualitative (s'il y a du cuivre à la fin, il y en a au début), et (ii) quantitative (il y a autant d'élément cuivre au début qu'à la fin). Ces lois ont ouvert un

immense champ de recherche qui a permis de doubler le nombre d'éléments chimiques connus : 33 à la fin du 18^e siècle quand Lavoisier écrit son traité de chimie, 66 quand Mendeleïev les classe en 1869. La notion moderne d'élément chimique n'arrive que postérieurement à la découverte par Moseley, au début du 20^e siècle, du numéro atomique, et la seule preuve de la découverte d'un élément chimique, en tout cas au 19^e siècle, a toujours été l'obtention du corps simple correspondant. Mendeleïev a classifié ce que l'on appelle aujourd'hui des corps simples, et non des éléments chimiques. Aujourd'hui, l'I.U.P.A.C. propose deux définitions de l'élément chimique. C'est ce que nous avons détaillé dans le chapitre 3 de cette thèse.

L'introduction historique de la classification périodique qui consiste à faire remarquer que Li, Na, K, possèdent des propriétés chimiques similaires (réductrices pour faire court !), est une introduction de la classification périodique des éléments chimiques au sens Anglais du terme, c'est-à-dire une introduction à la « classification chimique des corps simples ». La comparaison des propriétés chimiques des halogènes, sans précaution de langage, est du même acabit. Dans l'esprit de l'enseignement français, un élément chimique est assimilable à une case de la classification périodique, et une case n'a pas de propriétés chimiques. Nous sommes donc dans une situation où l'utilisation de l'histoire des sciences est à prendre avec beaucoup de précaution.

Point de vue sur l'apprentissage

Nous considérerons que les élèves apprennent quand ils établissent des relations entre les connaissances a priori déclarées comme objet de l'apprentissage. Certaines relations seront plus intéressantes que d'autres, quand elles appartiennent à des catégories différentes, macroscopique / microscopique (Johnstone-1993), perceptible / non perceptible / théorique (Le Maréchal 1999, Pekdag & Le Maréchal 2005). Notre séquence d'enseignement permette de faire fonctionner le savoir au sein de binômes d'élèves dans des situations de questionnement établies par ingénierie didactique (Artigue, 1992). Les différentes questions de la séquence aide les étudiants à être impliquer dans le raisonnement causal et le développement de l'argumentation.

La séquence d'enseignement

Objectif de la séquence

L'objectif général de la séance de TP est de faire utiliser le tableau périodique et la structure électronique des atomes pour prévoir et interpréter des réactions chimiques. C'est une utilisation du tableau, et non pas une élaboration du tableau périodique. Ce TP doit être proposé après un cours qui a présenté le tableau périodique, la structure électronique des

atomes et des ions en rapport avec leur position. Les élèves doivent pouvoir prédire la charge d'un ion simple connaissant la position de l'élément chimique correspondant dans la classification périodique. A la fin de ce TP, les élèves sont supposés savoir que dans une colonne donnée du tableau, les éléments chimiques sont très souvent impliqués dans des réactions chimiques similaires.

Avec ce TP, nous ne cherchons pas à prouver que parce deux corps ont des propriétés chimiques similaires, les éléments chimiques correspondants sont dans la même colonne, mais à l'inverse, que si deux éléments sont dans la même colonne alors ils doivent être mis en jeu dans des réactions du même type. Nous faisons prédire les propriétés de certains « corps » en fonction de leur position. Nous ne cherchons pas à faire deviner la colonne en fonction des propriétés chimiques.

Par exemple lors de la réaction avec l'eau, le calcium est plus proche du sodium que du magnésium ; or l'élément chimique calcium n'est pas dans la colonne de l'élément chimique sodium, mais dans celle du magnésium. En revanche, du fait que les éléments magnésium et calcium sont dans la même colonne, la réaction avec l'eau des corps simples correspondants doit avoir des points communs ; c'est une idée qui doit impérativement passer lors de ce TP ; (les atomes se transforment en ions métalliques, il se forme des ions HO^- ; cela n'empêche pas que les vitesses de réactions soient différentes ce qui entraîne des observations différentes lors des deux expériences).

Intérêt de la séquence

La réaction chimique est un thème qui présente des difficultés lors de son enseignement. Par exemple, dans l'enseignement « normal » de la chimie, les étudiants sont invités à mémoriser que la phénolphthaléine est ajoutée à une solution pour tester son alcalinité et, si la solution se transforme en une couleur fuchsia, alors son alcalinité est élevée (généralement son pH est supérieur à 9). Pour transformer cette activité de mémorisation en un raisonnement, nous avons développé une activité basée sur les observations suivantes: (1) observer la phénolphthaléine dans l'eau (incolore), (2) ajouter $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ (incolore encore - l'absence de la réaction chimique), (3), Puis ajouter $\text{Na}^+ + \text{HO}^-$ (couleur fuchsia – présence d'une réaction chimique). L'élève peut en déduire que la phénolphthaléine réagit avec les ions HO^- , qui sont connus pour être responsables de l'alcalinité des solutions. Plus loin dans le processus d'enseignement, le test de l'alcalinité a été utilisé comme un argument pour étudier une réaction chimique. Un tel échafaudage était fondé sur l'hypothèse que les élèves peuvent non seulement mémoriser les réactions chimiques, mais aussi développer une logique de leur compréhension. Ils peuvent faire une relation entre les différentes observations et la nature chimique d'un réactif déjà connu comme un concept chimique.

Elaboration de la séquence

Cette séquence décrite ci-dessous a été élaborée avec des enseignants de façon à faire travailler les élèves sur les concepts de base de la classification périodique, tout en les guidant à raisonner logiquement avec leurs connaissances antérieures de chimie afin d'en construire des nouvelles. Elle a été testée pendant plusieurs années avec une dizaine d'enseignants afin d'améliorer la présentation du texte de la tâche, et sa réalisation en classe.

Description de la séquence

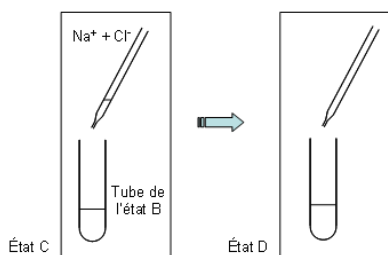
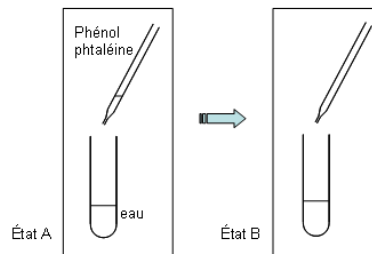
L'activité expérimentale ci-dessous vient donc utiliser (et non introduire) les notions sur la relation entre la charge des ions monoatomiques, la place de l'élément dans la *CP*, et l'analogie de la réactivité dans une famille.

La première des trois parties est une étude préliminaire qui vise à faire comprendre aux élèves qu'un test à la phénolphtaléine détecte la présence des ions hydroxyde. Se limiter à donner la propriété de ce réactif (la phénolphtaléine) ne nous est pas paru suffisant et nous y consacrons un moment conséquent de la séance. Il est demandé à l'élève d'introduire deux gouttes de phénolphtaléine, d'abord à une solution de chlorure de sodium, puis à un mélange de solutions de chlorure de sodium et d'hydroxyde de sodium. Les élèves à partir de quelques tests chimiques doivent raisonner pour en déduire si une espèce chimique est, ou non, responsable d'une réaction chimique. Ils mettent donc en œuvre une démarche scientifique pour montrer que la phénolphtaléine permet de caractériser la présence des ions HO^- .

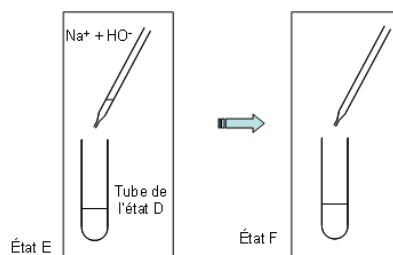
1ère expérience : Test à la phénolphthaléine.

La phénolphthaléine est une espèce chimique qui permet de caractériser un ion particulier. On se propose de trouver lequel à l'aide de quelques expériences.

1. Dans un tube à essais n°1, mettre 3 mL d'eau du robinet. Ajouter 2 ou 3 gouttes de phénolphthaléine (schéma ci-contre représentant le passage de l'état A à l'état B). Homogénéiser. Reporter dans le tableau 1 la couleur de la solution dans l'état B.



2. Ajouter dans le tube de l'état B quelques gouttes d'une solution de chlorure de sodium $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ (schéma représentant le passage de l'état C à l'état D). Reporter dans le tableau 1 la couleur de la solution dans l'état D.



3. Ajouter quelques gouttes d'une solution d'hydroxyde de sodium $\text{Na}^+ + \text{HO}^-$ (schéma représentant le passage de l'état E à l'état F). Reporter dans le tableau 1 la couleur de la solution.

Remplir la colonne centrale du tableau 1.

solution	Formules des espèces chimiques ou des ions présents dans cette solution (autres que la phénolphthaléine)	Couleur de la solution en présence de phénolphthaléine
Eau (état A)		
Eau + chlorure de sodium (état D)		
Eau + chlorure de sodium + hydroxyde de sodium (état F)		

Tableau 1

1. Entre quels états la phénolphthaléine s'est-elle transformée ? Quels ions ont été ajoutés entre ces deux états ?
2. A l'aide du tableau ci-dessus, trouver quel ion est mis en évidence lors de la transformation de la phénolphthaléine, et expliquer pourquoi.

Nous avons constaté à l'usage qu'il fallait engager l'élève dans toute une démarche (voir les 3 observations de la première expérience ci-dessous), et lui apporter de nombreuses illustrations afin qu'il construise (sans aide de l'enseignant) suffisamment de connaissances pour arriver au fait que la phénolphthaléine met en évidence la présence d'ions hydroxyde.

Les élèves sont questionnés sur les ions dont la présence est détectée par la phénolphthaléine (question 5 ci-dessus). En revanche la réponse correcte n'est pas évidente pour les élèves. La difficulté d'une telle tâche provient à notre avis du fait que (i) la notion d'ion est telle que les élèves de ce niveau la maîtrisent mal et ne savent pas l'impliquer dans leur raisonnement et

(ii) les élèves ne se repèrent pas dans la suite des événements qu'ils réalisent, et leur représentation du système chimique manipulé est trop insuffisante pour être efficace. Par exemple, pour le point (i) une erreur récurrente consiste à dire que la phénolphtaléine caractérise les ions *sodium* car ceux-ci sont communs aux solutions de chlorure de *sodium* et d'hydroxyde de *sodium*. Cet argument surprenant montre que pour certains élèves, il n'y a pas de relation entre la présence d'un ion dans une solution, une propriété chimique de cet ion, et une observation expérimentale. Une telle réponse montre bien l'écart entre la capacité réelle des élèves à raisonner sur des ions et ce dont nous avons besoin pour mener à bien un tel TP. Ce type de réponse nécessite une explication personnelle de l'enseignant qui doit indiquer que l'adage « les mêmes causes produisent les mêmes effets » s'applique également aux ions. Nous trouvons aussi que « *L'hydroxyde de sodium est l'ion mis en évidence car grâce à celui-ci le mélange change de couleur, il devient rose* ». Cette expression illustre la nécessité d'accompagner le passage de la notion d'ion définie par sa structure (en cours) à celle d'ion en solution (utilisée ici). Il semble que près de la moitié d'une classe comprenne finalement la notion de test chimique. Parmi les réponses des élèves qui n'ont pas compris une telle démarche, on trouve « *C'est la phénolphtaléine qui a été mise en évidence quand on a rajouté de l'hydroxyde de sodium* » ou « *L'ion qui est mis en évidence lors de la transformation est l'ion phénolphtaléine* ».

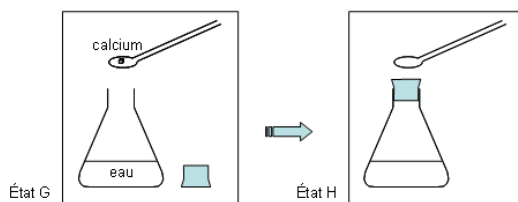
Un tel travail met en place non seulement les propriétés de la phénolphtaléine, indispensables pour la suite du travail, mais également un système de raisonnement de chimiste sans lequel la construction à venir est trop difficile pour être menée en autonomie réelle. Le tableau (voir dans le texte de l'activité) permet de montrer à l'élève le lien entre ce qui est perceptible et ce qui est non perceptible.

La seconde partie du TP consiste à demander aux élèves d'introduire une minuscule quantité de calcium métallique (4 à 5 mg de calcium – fraîchement acheté) dans un tube à essais bouché, initialement rempli au $\frac{3}{4}$ d'eau.

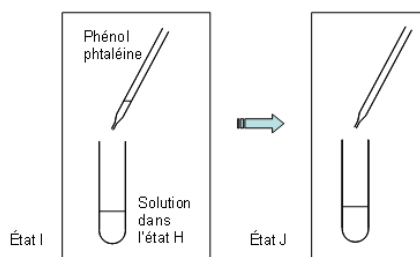
2ème expérience

1. Transformation chimique n°2

Mettre le l'eau du robinet dans un erlenmeyer et introduire un petit morceau de calcium (schéma ci-contre). Boucher l'erlenmeyer et noter ce qui est observé entre l'état G et l'état H.



2. Identification de ce qui a été formé



- Quand la transformation est terminée, déboucher l'erlenmeyer et approcher aussitôt une allumette enflammée de l'embouchure. Noter ce qui est observé. Qu'est-ce qui a été mise en évidence ?
- Dans un tube à essais, introduire 2 mL du contenu de l'erlenmeyer dans l'état H. Ajouter quelques gouttes de phénolphthaleïne à ce prélèvement et noter ce qui est observé. Qu'est-ce qui a été ici caractérisée (en relation avec la propriété donnée au début du TP) ?

L'élève doit noter qu'il y a une transformation chimique mise en évidence par le dégagement gazeux et la disparition du calcium. Le gaz est identifié par son inflammation. Un test à la phénolphthaleïne montre la présence d'ions HO^- à l'élève. L'élève ne doit pas parler de transformation chimique, qui serait une forme d'interprétation des observations, mais doit se limiter, à ce stade, à énumérer ces seules observations. Quand on approche une allumette, une détonation retentit. Après ajout de quelques gouttes de phénolphthaleïne, la solution devient fuchsia (ne pas dire qu'il y a des ions hydroxyde, car ce n'est plus une observation mais une interprétation). Le test à la phénolphthaleïne étant positif, la solution contient au moins des ions hydroxyde.

La multiplication des illustrations guide l'élève, comme précédemment, pour se repérer dans les questions qui suivent. Cependant certains élèves ont, comme souvent, du mal à distinguer la réaction chimique étudiée (ici Calcium + eau) et celle qui en permet l'étude (OH^- + Phénolphthaleïne). C'est pour cela que le travail effectué avec le tableau 1 sur les états définis par les schémas est important. Le schéma et les différentes observations permettent de montrer à l'élève ce qui est perceptible et les différentes questions mettent l'accent sur ce qui est non perceptible.

Après le test à la phénolphthaleïne qui montre la présence d'ions HO^- à l'élève. Celui-ci doit aussi déduire de la loi de conservation que l'élément chimique calcium doit être présent, et forcément sous forme cationique puisque des anions ont été mis en évidence en solution. La position de Ca dans la classification périodique impose que ce soit l'ion Ca^{2+} .

3. Les questions suivantes ont pour but d'aider à remplir le tableau 2, qui mentionne les noms des entités chimiques et des éléments chimiques impliqués dans la transformation entre les états G et H.

- Remplir la case correspondant à la ligne « Nom et formule » dans l'état G.
- Remplir la case « élément chimique » dans l'état G. On vérifiera que les éléments chimiques mentionnés figurent effectivement dans la classification périodique.
- Remplir la case correspondant à la ligne « Nom et formule » dans l'état H. Mettre dans la case située en-dessous les éléments chimiques correspondant.
- Cette case contient-elle la totalité des éléments chimiques présents après la transformation ? Justifier votre réponse en utilisant une loi énoncée en cours.

4. Bilan de la transformation chimique entre les états G et H

- Les ions présents en solution dans l'état H, identifiés grâce à la phénolphthaléine sont-ils des anions ou des cations ?
- Pourquoi peut-on affirmer que des cations sont également présents dans l'état H ?
- Sachant que ces cations sont uniquement constitués de l'élément chimique manquant (voir question 3.e), et connaissant la position de cet élément dans la classification périodique, écrire la formule de ces cations. Préciser les lois (ou règles) utilisées dans le raisonnement.
- Décrire par une phrase le bilan de la transformation chimique qui a eu lieu dans l'erenmeyer.

	Dans l'état G	Dans l'état H
Nom et formule des espèces chimiques ou des ions		
Éléments chimiques présents (nom et symbole)		

Tableau 2

Certains élèves s'y prennent autrement ; ils repèrent le numéro atomique et réinvestissent la démarche qui implique la règle de l'octet. Maintenant, et seulement en s'aidant de toutes ces informations ayant mis en jeu un grand nombre de données, l'élève est capable de trouver que les réactif sont Ca et H₂O et les produits Ca²⁺, H₂ et HO⁻.

La plupart des champs conceptuels relatifs à l'élément chimique sont donc explicitement impliqués avec des données expérimentales, et/ou une réflexion théorique. L'originalité de notre proposition, nous le percevons, n'est pas dans la banale réaction chimique mise en œuvre, mais dans la réflexion qui l'entoure.

L'expérience qui suit met en œuvre la notion de réactivité au sein d'une famille. Il n'est pas question de démontrer cette notion, mais de l'utiliser pour prévoir/interpréter le comportement d'un système chimique et pour constater la différence entre ce qui est prévu et ce qui est réalisé. L'idée est de montrer que dans une famille il y a des similarités, mais aussi des différences. Cette dernière partie, la troisième expérience du TP, consiste à faire prévoir ce que donnerait l'introduction de magnésium dans l'eau. Les élèves repèrent rapidement que l'élément magnésium est dans la deuxième colonne de la CP et, qu'à ce titre, c'est un élément chimique. Ils transposent les observations de l'expérience avec l'élément calcium en prédictions relatives au magnésium. La présence de Ca et de Mg dans la même colonne

appelle une analogie de comportement. Cependant la réaction magnésium + eau n'étant pas aussi rapide, l'effervescence n'apparaît pas et la coloration fuchsia est faible. La comparaison entre la prédiction et l'observation permet de donner du sens au caractère « similaire » de réactions chimiques dans lesquelles sont impliquées des éléments chimiques de la même colonne. Un lien entre ce qui est perceptible et ce qui est théorique est possible de se faire avec ce type de questionnement.

3ème expérience : Transformation chimique n°3

1. Chercher la position de l'élément chimique magnésium dans le tableau périodique. En déduire ce qui va se passer quand on met un morceau de magnésium dans l'eau.
2. Dans un erlenmeyer, mettre de l'eau et quelques gouttes de phénolphthaléine ; homogénéiser. Ajouter ensuite un petit morceau de magnésium. Noter ce qui est observé.
3. Comparer ces observations avec celles effectuées entre les états G et H. En déduire si les réactions impliquant des éléments chimiques d'une même colonne sont : identiques, similaires, ou non comparables. Justifier la réponse.
4. L'échantillon de magnésium utilisé est constitué de trois types d'atomes (voir tableau). Justifier que ces atomes appartiennent tous à la même case de la classification périodique.

	1 ^{er} type	2 ^e type	3 ^e type
nombre de nucléons	24	25	26
nombre de neutrons	12	13	14

Un travail sur les espèces chimiques ioniques en marge du programme officiel, mais que nous avons trouvé important a permis de trouver fréquemment dans les copies des élèves des phrases du type : « *une solution est électriquement neutre, donc s'il y a des anions, il y a des cations* ». L'intérêt de ce questionnement est d'avoir pu articuler toutes ces notions fondamentales théoriques dans un petit nombre de questions à la suite de l'utilisation de réactifs chimiques peu coûteux et de faire le lien entre les différentes observations perceptibles et l'aspect non perceptible des ions (formule). Les expériences bien que simples à réaliser sont cependant enrichissantes du point de vue du savoir-faire à développer chez les élèves. L'abondance des concepts fondateurs de connaissances qui sont impliqués à ce moment de l'apprentissage nous est apparue importante afin que leur mise en relation puisse intervenir. Le fait que cela se fasse en TP permet une construction des connaissances au rythme de l'élève, alors qu'il dispose de temps et d'un enseignant prêt à répondre à une question personnalisée.

La vue globale du TP est une condition nécessaire pour comprendre la séquence d'enseignement, une équation chimique est inutile à ce niveau là mais une phrase bien construite qui exprime le bilan de la séquence est bien demandée et indispensable. Comme dans toute transformation qui implique une disparition d'un solide, les élèves n'ont pas toujours les connaissances requises pour savoir si le solide se dissout ou si l'espèce chimique correspondante réagit. Par exemple, on trouve fréquemment : « Le morceau de calcium

métallique se dissout dans l'eau, il dégage du gaz » ou « En présence d'eau, le morceau de calcium métallique se dissout provoquant un précipité blanc et des bulles en surface » ou « la transformation qui a eu lieu c'est la dissolution du calcium dans l'eau. Pour un élève de seconde, à ce stade de l'année, le terme « dissout » regroupe plusieurs choses (disparition, dissolution au sens du chimiste, réaction, etc.), et le professeur manque du modèle de la réaction chimique pour en débattre.

Application à l'enseignement

La classification périodique avec une approche expérimentale

Aspect expérimental

Les conditions initiales de la transformation qui résulte de l'introduction de calcium dans l'eau sont essentielles pour le raisonnement des élèves. Mettre trop de calcium conduit à l'obtention du précipité $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ce qui altère le raisonnement puisque certains ions ne sont pas en solution. La conservation des éléments chimiques est plus simple à utiliser rigoureusement si une unique phase est en jeu.

Utilisation de schémas

Il apparaît dans le texte du TP un grand nombre de schémas qui sont sensés aider les élèves à se représenter après coup les nombreuses petites expériences réalisées. Plus il y a d'événements qui se ressemblent et qui sont nouveaux pour les élèves, plus il leur est difficile de savoir à quoi les questions posées se réfèrent. Dans les versions antérieures du TP (sans les schémas), de nombreux élèves ne parvenaient pas à remplir le tableau 2, pourtant essentiel à la compréhension globale du TP et à son impact pédagogique.

Il ne faut pas non plus penser que les schémas sont parfaitement limpides pour les élèves. Certains n'en comprennent pas le sens et une explication personnalisée doit être fournie. Une difficulté est que les schémas, tels que nous les avons représentés, correspondent à deux moments que nous savons importants pour l'expérience, importance que ne partagent pas forcément les élèves. Bien qu'il y ait des schémas, certains élèves ne repèrent pas tous les « acteurs chimiques » présents dans l'état considéré. Ceci se traduit par un remplissage erroné du tableau 2 où l'on trouve alors : (i) un oubli de Ca dans l'état G, (ii) l'écriture de Ca^{2+} dans l'état H alors que la présence n'est pas observée expérimentalement, mais déduite théoriquement.

Nous avons choisi d'annoncer que chaque schéma correspond à un état (du système chimique étudié). Ceux-ci ont été numérotés et servent de base à la réflexion. La notion

d'état nous paraît importante pour la suite du programme de Seconde : chapitre sur les gaz avec les variables d'état, et sur la réaction chimique avec les états initial et final.

Représenter la transformation avec une phrase

Notre progression ne prévoit pas de faire écrire d'équation chimique avant l'étude de la réaction chimique en fin d'année. Il est possible, et même souhaitable, de s'en passer au début de l'année. Cela permet de ne pas mélanger les objectifs sur lesquels chaque activité focalise l'attention des élèves. Notre *Credo* considère que l'écriture d'une équation chimique est un exercice généralement facile qui détourne l'élève de ce sur quoi il faut qu'il porte son attention. Il peut aligner correctement les symboles sans comprendre l'enjeu de l'activité.

Nous demandons dans cette question que l'élève nous donne la phrase suivante : le calcium et l'eau réagissent pour donner des ions calcium, du dihydrogène et des ions hydroxyde. Pour cela, l'élève doit identifier les réactifs et produits de la transformation, ce qui est en soit un bon exercice qui nécessite que ses manipulations prennent du sens. Ainsi, la réponse (à la question 4.2) : « Quand on mélange l'hydroxyde de sodium et de la phénolphthaléine, le mélange devient rose. » montre la confusion entre les différents systèmes chimiques mis en jeu lors du TP car l'élève pense que la réaction étudiée, donc importante, est la première.

L'élève peut aussi vouloir écrire que la phénolphthaléine joue un rôle lors de la réaction étudiée alors que cette dernière n'est mise en jeu qu'après la transformation, lors des tests. On a trouvé par exemple : « La solution s'est formée grâce au mélange de phénolphthaléine et de calcium métallique ».

Faire écrire l'équation : $\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2 + 2\text{HO}^-$, par exemple en fournissant le premier membre, aurait transformé une réflexion qui impliquerait l'élément chimique dans ses différents champs conceptuels en une réflexion sur des règles d'ajustement de nombres stœchiométriques qui n'aurait mis en œuvre que des symboles. C'est bien moins riche. L'élève doit comprendre qu'une transformation chimique ($\text{Ca} + \text{H}_2\text{O}$) est étudiée au moyen d'une autre ($\text{HO}^- + \text{phénolphthaléine}$) et pour cela il doit dépasser le cadre de la stœchiométrie.

Erreurs non liées spécifiquement à l'élément chimique

Ce TP a permis de révéler des difficultés que l'on rencontre aussi dans d'autres circonstances.

- ✗ A cette période de l'année, des solutions ioniques (par exemple la solution d'hydroxyde de sodium) sont fréquemment utilisées sans trop se soucier des difficultés que les élèves ont à représenter ce qu'est un ion en solution. Par exemple la réponse fréquente : « Les ions qui ont été ajoutés au moment où la phénolphthaléine s'est transformée sont les ions hydroxyde de sodium » montre que les élèves restent

au niveau perceptible et en plus que la relation entre la définition des ions vue dans le cours sur la structure de l'atome, et l'ion en solution, n'est pas acquise.

- ✗ Comme dans toute transformation qui implique une disparition d'un solide, les élèves n'ont pas toujours les connaissances requises pour savoir si le solide se dissout ou si l'espèce chimique correspondante réagit. Par exemple, on trouve fréquemment : « Le morceau de calcium métallique se dissout dans l'eau, il dégage du gaz » ou « En présence d'eau, le morceau de calcium métallique se dissout provoquant un précipité blanc et des bulles en surface » ou « la transformation qui a eu lieu c'est la dissolution du calcium dans l'eau. Pour un élève de seconde, à ce stade de l'année, le terme « dissout » regroupe plusieurs choses (disparition, dissolution au sens du chimiste, réaction, etc.), et le professeur manque du modèle de la réaction chimique pour en débattre.

L'élément chimique et sa position dans la classification périodique

Les trois approches conceptuelles impliquant la notion d'élément chimique (conservation, structure de l'atome, classification périodique) ont effectivement été impliquées avec un petit nombre 14% dans le TP.

- ✗ La conservation de l'élément chimique semble acquise dans un nombre de cas, en témoigne cette réponse représentative de celles observées : « Oui, la totalité des éléments chimiques sont présents après la transformation, car lors d'une transformation chimique, les éléments restent présents avant et après la transformation. On dit qu'il y a conservation des éléments chimiques. »
- ✗ La détermination de la formule des ions calcium s'effectue souvent à partir du numéro atomique, de la structure électronique, et la règle de l'octet, ce qui ajoute explicitement un lien avec le champ conceptuel sur la structure de l'atome : « Le numéro atomique du calcium est 20, pour que l'ion soit stable, il doit avoir sa dernière couche saturée, l'ion est donc Ca^{2+} , car il a 18 électrons : $(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^8$. »
- ✗ De même, dans la dernière partie du TP (avec Mg), certains élèves utilisent la position dans la colonne : « Le magnésium *doit perdre 2 électrons* pour être stable (pour que sa dernière couche soit saturée), comme le calcium. La réaction du magnésium avec l'eau est donc la même que celle du calcium. »

Conclusion

L'idée de base dans cette tâche, dont la présentation est détaillée, était l'introduction de nouvelles connaissances sur la classification périodique, en se basant sur la dynamique des connaissances antérieures mises en jeu par les élèves. Nous avons montré que la tournure des questions dans la séquence d'enseignement était capable de mobiliser ces connaissances et les faire évoluer vers de nouvelles, proches de celles attendues lors de la construction de la séquence dans la séance de débriefing. Il a fallu insister sur la différence entre la réaction chimique étudiée et celle qui permet l'étude (le test chimique), et faire réaliser plusieurs petites expériences aux élèves. Cela a conduit à proposer un texte largement illustré. L'abondance des schémas permet à de nombreux élèves de s'y retrouver et aux autres de comprendre plus facilement les explications de l'enseignant.

La proposition particulièrement innovante a respecté un point de vue clairement établi sur l'apprentissage et a fonctionné pendant une dizaine d'année sur plusieurs classes avec des enseignants qui débattaient entre eux du fonctionnement de la classe et des connaissances. Ce long terme garantit que les idées originales proposées sont gérables en classes. Notre réflexion contribue à inciter les enseignants et les didacticiens à innover dans le sens d'une recherche de cohérence globale du fonctionnement des concepts scientifiques.

Partie B : Les débriefings

Nous venons de montrer d'après la présentation et la description des séquences d'enseignement qu'elles ont un rôle dans l'apprentissage. Le choix des activités n'était pas arbitraire. Nous nous sommes intéressés du coup de voir l'activité de l'enseignant dans la troisième étape C de la démarche scientifique en échangeant avec ses élèves et en structurant les connaissances dans ce genre de séquences d'enseignement.

Par contrat, l'élève qui vient de travailler sur une activité prescrite par l'enseignant attend de celui-ci un débriefing qui peut être de natures différentes. C'est à ce niveau là qu'intervient la troisième étape de la démarche scientifique. L'élève attend, à un moment de l'enseignement, que l'enseignant corrige les questions posées, ou fournisse un texte (oral ou écrit) des connaissances qui sera ce qu'il doit apprendre et ce sur quoi il sera évalué.

Dans ces chapitres, nous allons étudier l'activité de l'enseignant, et décrire son comportement lors de la séance qui suit l'activité expérimentale. Nous allons précisément regarder comment l'enseignant fait pour faire profiter les élèves du TP dans la séance de débriefing. Dans ce qui suit, nous allons alors aborder la partie suivante de la thèse, et présenter les différents types de débriefings.

Ce qui précède a permis de faire émerger la notion de débriefing comme le moment de l'enseignement où l'enseignant reprend la responsabilité de la manipulation du savoir après l'avoir dévolué aux élèves. Lors de ce moment, l'enseignant traite du même savoir et dans le même contexte que celui du travail (confié aux élèves) qui est débriefé. Etudier le débriefing se distingue des nombreuses études sur la professionnalité enseignante (Chin, 2006, et les références mentionnées) par le fait que c'est généralement le moment de l'activité qui est étudié, et non ce qui suit l'activité comme ici. Nous donnons une définition brève de chaque type qui sera détaillé dans un chapitre ultérieur de la thèse.

Les débriefings corrigés au cours desquels l'enseignant corrige tout ou partie des questions qu'il a posées lors de l'activité. La structure du débriefing suit alors celle de l'activité. Les débriefings de cette classe que nous avons observés sont surtout des discussions de classe. Nous allons détailler et décrire les différentes activités de l'enseignant lors d'un débriefing-corrigé, voir les différentes types de questions qu'il pose à ses élèves dans le chapitre 5 de la thèse.

Une autre classe de débriefing est le débriefing de synthèse. Dans ce type de débriefing, nous avons constaté que l'enseignant proposait un document, qui peut être de différentes natures, écrit ou à remplir, sur lequel la synthèse était construite ou à construire avec les élèves. Nous allons détailler ce type de débriefing dans le chapitre 6 de la thèse où nous allons traiter la création de la fiche de synthèse et son utilisation par l'enseignant lors du débriefing.

Enfin, la troisième classe de débriefing a consisté en un cours, au sens transmissif du terme, qui était basé à la fois sur les connaissances de l'activité et sur son contexte. Dans le cas du débriefing cours, l'enseignant parle depuis le tableau et les élèves interviennent peu. Nous détaillons cette pratique dans le chapitre 6 de la thèse.

Nous appelons débriefings de l'activité toutes ces formes de travail de l'enseignant qui se suivent le TP. Nous allons décrire les activités de l'enseignant dans chacune de ces types respectivement dans les chapitres 5, 6 et 7.

Chapitre 5 Le débriefing-corrigé de l'activité expérimentale

Introduction

Le premier chapitre de la thèse a permis de faire émerger la notion de débriefing comme le moment de l'enseignement où l'enseignant reprend la responsabilité de la manipulation du savoir après l'avoir dévolu aux élèves dans l'activité expérimentale. Lors de ce moment, l'enseignant traite du même savoir et dans le même contexte que celui du travail du TP (confié aux élèves) qui est débriefé. Dans cette partie de la thèse, nous nous sommes intéressés à la présentation et à la description du débriefing type corrigé, type le plus fréquent.

Nous faisons l'hypothèse qu'au cours du débriefing corrigé l'enseignant corrige tout ou partie des questions qu'il a posées lors de l'activité. L'étude de cette classe de débriefing est donc l'objet de ce chapitre de la thèse.

Deux éléments sont essentiels dans l'analyse du débriefing corrigé : d'une part les différentes interventions de l'enseignant et d'autre part les connaissances mises en jeu dans ses productions verbales. Nous relaterons donc dans ce chapitre l'étude des conditions qui permettent de décrire le débriefing-corrigé en présentant plusieurs exemples de corrigés avec trois enseignants différents ainsi que trois séquences d'enseignement différentes.

Ce chapitre étudie alors le débriefing-corrigé des activités expérimentales faites par des élèves de classe de Seconde. Nous allons faire le point sur le cadre théorique concernant les interventions de l'enseignant. Nous poserons ensuite nos questions de recherche et expliquerons la méthodologie que nous avons élaborée pour répondre à ces questions. Nous résumons ensuite les différentes séquences d'enseignement débriefés. L'activité de l'enseignant sera détaillée dans l'analyse.

Cadre théorique : Analyse conversationnelle et didactique

Notre analyse des activités des enseignants s'est basée sur le cadre théorique que nous avons développé dans le chapitre 1, et qui concerne l'analyse conversationnelle et l'analyse didactique des productions verbales de l'enseignant au cours de la séance de débriefing.

Nous rappelons qu'une discussion de classe consiste en un dialogue entre deux locuteurs : l'enseignant et la classe. Une interaction entre deux locuteurs s'organise le plus souvent sur la base d'un échange ternaire et suivant la structure IREIREIRE, etc. au cours duquel l'un des locuteurs initie la conversation (intervention I), le second répond (intervention R), et le premier reprend la parole pour une intervention appelée évaluation par certains auteurs (Orecchioni, 1996) (intervention E) ou feedback par d'autres (Mortimer, 2000)

Nous rappelons aussi que l'échange ternaire peut également se doubler d'échanges enchâssés, consistant en une succession d'interventions A (par un locuteur A) et B (par un locuteur B) au sein de l'échange ternaire et s'organise suivant la structure : IREIRABABEIRE, etc.

Nous allons étudier toutes les interventions sous la responsabilité de l'enseignant les interventions I d'une part, et E d'autre part. Comme nous avons remarqué que les interventions initiatrices de l'enseignant sont la majorité du temps des questions.

L'étude des interventions initiatrices peut se ramener à l'étude des questions que pose l'enseignant à la classe. Dans le cadre d'un débriefing corrigé, ces questions peuvent *a priori* soit être celles qui étaient dans le texte de l'activité, soit être de nouvelles questions.

Questions de recherche

Il s'agit de caractériser ce qui se passe pendant les débriefings du point de vue des échanges ternaires et du point de vue des connaissances (facettes de connaissances). La question que nous nous posons est de décrire les structures linguistique et cognitive des débriefings corrigés.

En ce qui concerne la structure linguistique, nous faisons l'hypothèse qu'il s'agit d'une série d'échanges ternaires, et nous souhaitons déterminer l'écart à cette structure de base. De plus, dans le cas des échanges ternaires, avec l'enseignant qui questionne la classe, nous souhaitons ensuite décrire le type de questions que celui-ci pose, surtout quand les questions posées ne sont pas celles de l'activité (question hors texte). Cet écart pourra être assimilé à la mesure de l'écart avec un corrigé strict qui se limiterait à corriger les unes après les autres, les questions posées pendant l'activité. En même temps, nous souhaitons ensuite décrire le type d'évaluations que l'enseignant fait suite à la réponse de l'élève. La recherche se traduit par la question suivante : Quels types de questions l'enseignant pose-t-il et quels types d'évaluations fait-t-il suite à la réponse de l'élève ?

La deuxième intervention réactive est pratiquement une intervention de la part de l'élève. Nous nous posons la question suivante : quel type d'intervention réactive l'élève fait-t-il ? Le type de questions posées par l'enseignant influe-t-il sur son intervention réactive ?

Nous utiliserons la décomposition du savoir en facettes de connaissances afin de trouver comment le savoir est manipulé pendant un tel type de débriefing. L'activité du locuteur

pendant que du savoir est en jeu sera alors déterminé. La recherche se traduit par la question suivante comment la connaissance est-elle traitée dans l'évaluation de la réponse de l'élève ?

Les connaissances que le professeur met en jeu pendant le débriefing sont-elles stables d'une séance à l'autre, d'un enseignant à l'autre et comment se situent-elles par rapport à celles mises en jeu dans un cours type comme celui présenté dans un manuel scolaire ? Plus généralement quels sont les avantages et les inconvénients d'un corrigé d'activité expérimentale et comment celui-ci peut s'articuler parmi les différents éléments d'une séquence d'enseignement ?

Méthode

Méthodologie de prise et d'analyse des données

La recherche effectuée est de type étude de cas. Trois enseignants y ont participé à l'occasion de trois activités expérimentales différentes dont deux (CP et EC) étaient présentées en détail dans les chapitres 3 et 4 et la troisième (ML) présentée dans le chapitre 2. L'étude approfondie de ces quelques cas, loin de se vouloir représentatifs de la communauté enseignante, est supposée conforter nos hypothèses et permettre de donner suffisamment de pistes de réflexion sur cette étude des débriefings-corrigés.

La méthodologie de collecte et d'analyse des données est conforme à la méthode générale que nous avons présentée dans le chapitre 1. Les vidéos de classes permettent de suivre l'activité des enseignants lors des séances de débriefing. Nous précisons que le recueil des données a été effectué avec trois enseignants H, M et D appartenant au groupe SESAMES filmés en classe de seconde en 2005 et 2006.

Suivant la méthode d'analyse que nous avons expliquée dans le chapitre 1, les transcriptions des productions verbales de l'activité des enseignants (annexe 5 documents 5 a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, m, n, o) ont été découpées en échanges ternaires (annexe 5 document 5 a). Ces transcriptions des productions verbales permettent d'identifier le savoir mis en jeu dans la séance de débriefing, ainsi que les interventions d'initiation, d'évaluation de l'enseignant et puis les interventions des élèves (annexe 5 document 5a'', annexe 8 document 8 e). Les échanges enchâssés ont été repérés. Le contenu conversationnel des échanges enchâssés a été catégorisé au même titre que les échanges ternaires.

Nous rappelons que les facettes de connaissances ont été basées sur les concepts apparaissant, à chaque sous-partie du programme concernant les activités concernées. Pour chaque activité, nous avons défini, à partir du programme officiel, une liste de connaissances qui devaient *a priori* être mises en jeu. Les facettes correspondant à ces concepts ont été recherchées : dans les parties de cours des manuels scolaires aux chapitres correspondant aux

activités étudiées dans les transcriptions des corrigés, et dans les documents distribués aux élèves lors de chaque activité et regroupées de différentes façons pour faire apparaître certaines pratiques des enseignants (annexe 6 document 6 a, b et c). Cette identification nous permet de comparer la structure cognitive des différents enseignants. Nous avons étendu la notion de facette aux textes des manuels scolaires en comparant les facettes apparaissant dans les corrigés et celles présentes dans le manuel.

Mise en place d'activités

Nous avons étudié les débriefings-corrigés des trois séquences d'enseignement : *EC*, *ML*, et *CP*. Nous. Les différentes données ont été décrites dans le chapitre 2 (voir le tableau 1 qui rassemble les différentes données relatives à ces enregistrements).

Nous rappelons que la séquence *EC* (décrite dans le chapitre 4), commence par une activité d'une heure, et sert d'introduction des notions de l'élément chimique. Cette activité est expérimentale et consiste à faire réfléchir les élèves sur la conservation et la non-conservation lors de quelques réactions chimiques simples. Elle est suivie, dans la même séance, d'un premier corrigé (filmé) et d'une deuxième activité. L'année suivante, H a été à nouveau filmé pendant les deux corrigés.

La séquence *ML* (décrite dans le chapitre 2) diffère pour H et M. H commence par la distribution (à la fin de la séquence précédente) du texte d'un modèle (Annexe 1 document 1a) qui contient les définitions d'un certain nombre de concepts sensibles. Il pose en même temps 4 questions (Annexe 1 document 1a) susceptibles de favoriser la lecture du texte assez complexe qui constitue le modèle. La séance suivante, il commence par corriger les 4 questions, ce que nous appelons préactivation du modèle (filmé), et a enchaîné sur l'activité (Annexe 1 document 1a). A la différence, M a commencé directement par l'activité en distribuant le modèle, et n'a pas posé de questions préalables. Pour H comme pour M, le débriefing-corrigé de cette activité a été filmé. Cette activité est à nouveau introductrice des concepts sensibles mais, à la différence des autres séquences étudiées dans ce travail, elle met en jeu le texte d'un modèle, délicat et introduisant de nombreuses nouvelles notions.

La séquence *CP* (décrite dans le chapitre 3), consiste en un cours suivi d'une activité d'1h30 et d'un débriefing lors de la séance suivante (filmé). Cette fois, l'activité intervient après le cours correspondant. Les nouvelles connaissances découlent de l'utilisation de la classification.

Résultats et discussions

Les résultats concernent d'une part l'analyse conversationnelle (structure linguistique), avec la catégorisation des interventions d'initiation, de réaction et d'évaluation, et d'autre part l'analyse didactique (structure cognitive) en termes de facettes de connaissance.

Description de la structure linguistique du débriefing

A part les épisodes d'ouverture des 12 séances de corrigés (pour 3 enseignants) au cours desquels les enseignants prennent contact avec la classe et règlent quelques questions sans rapport avec le sujet scientifique du jour, et les épisodes de clôture qui ont consisté à donner du travail à faire à la maison et/ou à permettre la sortie des élèves, la totalité des corrigés ont été constitués de 492 échanges ternaires, avec 115 échanges enchâssés. Les interventions initiant les échanges ternaires ont toujours été des questions des professeurs.

Des exemples d'interventions sont donnés ci-dessous lors des analyses. Les sous-parties qui suivent donnent les résultats de l'analyse des catégories des questions puis des évaluations de ces échanges.

Catégorisation des questions des échanges ternaires

Les questions posées ont été d'abord catégorisées en questions du texte de l'activité et questions hors texte (voir la figure 1). Nous avons décompté 113 questions reprenant mot pour mot le texte de l'activité, contre 297 questions hors texte. La faible proportion des questions du texte de l'activité doit être comparée à la valeur 137, qui est le nombre total de questions qu'il y aurait eu si tous les enseignants avaient lu (une unique fois) chaque question. La plupart des questions ont donc en fait été utilisée tel quel.

Nous nous sommes également posé la question de déterminer l'origine des 297 questions hors texte. Les catégories qui ont émergées de l'analyse et leur fréquence sont rassemblées dans ces trois paragraphes, et des exemples sont donnés dans les paragraphes suivants. Sur les 297 questions hors texte, 223 trouvent leur origine dans le contexte du TP de ce qu'a fait (vu, perçu...) l'élève pendant l'activité ou le contexte que venait d'évoquer l'élève dans sa précédente intervention. La démarche de l'enseignant pour « improviser » cette question peut être qualifiée de basique puisqu'il vient d'entendre un propos de la bouche d'un élève qu'il estime pertinent à relancer, ce qu'il fait dans l'échange ternaire suivant ; ou bien il se réfère à ce qui s'est passé pendant le TP ou ce qui est écrit dans la fiche de TP et de même l'utiliser pour formuler une question. Nous les notons par question de contexte.

D'un autre côté, 28 questions relèvent de ce qu'on peut appeler un niveau métacognitif, c'est-à-dire qu'elles interrogeaient par exemple l'intérêt d'une question du TP, ou de la connaissance correspondante. Il y a donc dans cette catégorie de questions, certes rares, une demande bien supérieure à celle de la catégorie précédente. L'enseignant, au lieu de se mettre au plus près de ce qui se passe pendant l'activité, élève le débat et fait réfléchir la classe sur le pourquoi des questions posées, sur la stratégie employée, ou sur la connaissance en jeu. Nous les appelons questions méta

Par ailleurs, nous avons observé que 19 questions constituaient à simplifier un problème en cours de discussion (simplification), et que 27 questions le rendaient plus complexe, par

exemple en établissant des relations entre plusieurs questions, ou en faisant appel à des connaissances d'une autre nature (relation). Ce changement de nature a le plus souvent fait appel à un modèle alors qu'il n'en était pas question dans la question initiale.

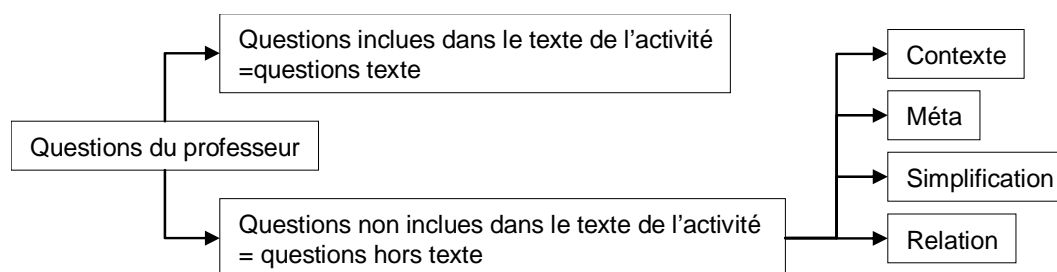


Figure 1 Catégorisation des questions du professeur lors d'un corrigé d'activité expérimental

La suite de cette sous-partie fournit quelques exemples de chacune des catégories qui viennent d'être évoquées.

- Les questions textes quand l'enseignant pose la même question se trouvant dans le texte du TP

Prof : allez on va mettre les points en commun alors comment peut-on reconnaître simplement le cuivre d'autres métaux comme le fer ou le plomb ?

Cette dernière partie du professeur est exactement contenue dans la fiche de l'activité

- Les questions de contexte sont de deux types, soit en référence avec ce que les élèves ont fait, ou observé pendant l'activité expérimentale, soit en référence avec ce que les élèves ont dit :

E : Une tache

Prof : Alors F elle était comment la tienne ? [Il est question d'une tache sur une lame métallique].

Le professeur utilise une observation des élèves (pratiquement le contexte de la situation, en relation avec le TP), qu'il est donc important de partager avec l'ensemble de la classe.

Pour le second type (en référence avec ce que les élèves ont dit) autrement dit les questions sont extraites de la réponse de l'élève : quand l'enseignant transforme le commentaire de l'élève en une question :

Élève : Un doublet non partagé ne peut pas constituer une liaison chimique covalente car ils ne sont pas situés sur la couche externe de l'atome

Prof : est ce qu'ils ne sont pas situés sur la couche externe (?)

Le professeur se sert de ce que l'élève a dit (de ses mots), pour poser une nouvelle question. Dans ce cas, il s'agit de faire réfléchir la classe sur une erreur entendue dans la réponse d'un élève.

- Les questions au niveau méta concernent par exemple les questions de réflexion sur les questions posées, sur les connaissances ou sur les stratégies :

Prof : on va répondre aux questions suivantes et on va arriver justement à cette réponse est ce qu'on peut dire c'est du cuivre cuivre a priori non / qu'est-ce qu'on utilise pour essayer de comprendre ce qui se passe (?) [L'enseignant a effectivement dit « cuivre cuivre » par imitation d'un élève qui n'avait pas les mots pour distinguer le « cuivre » (= cuivre métallique) et le « cuivre cuivre » (élément chimique cuivre)].

Cette question est en rapport avec la compréhension des élèves. Le professeur cherche à faire dire aux élèves que pour comprendre ce qui se passe, il va falloir distinguer le cuivre métallique qui disparaît et l'élément chimique cuivre qui, lui, se conserve. Nous sommes effectivement dans le niveau méta.

- Les 19 questions de simplification de questions ont permis au professeur de décomposer une question complexe ou difficile en questions plus simples qui permettent de répondre progressivement à la réponse, ou de remplacer une question par une autre qui lui ressemble.

Prof : alors qu'est ce qui se passe une liaison chimique covalente c'est quoi ? (la question un doublet non partagé peut –il constituer une liaison chimique covalente, expliquer pourquoi et là on vous dit à l'aide du modèle 3)

Donc l'enseignant simplifie la question en la divisant en des questions élémentaires.

- Les 27 questions de relation ont permis à l'enseignant sont de deux types d'établir des relations soit entre différentes questions ou entre des connaissances étant intervenues à différentes questions soit la relation de question avec le modèle.

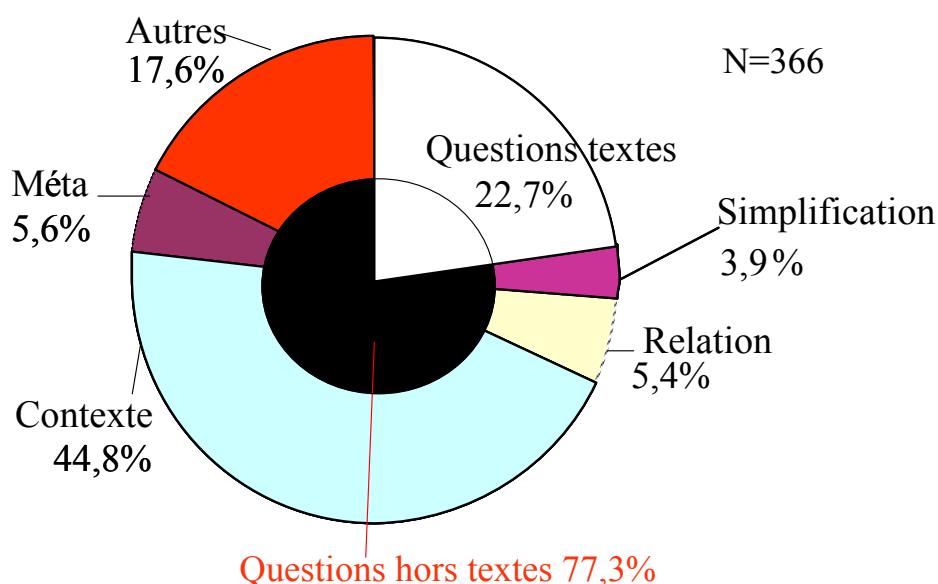
Par exemple, l'activité EC demandait d'ajouter de l'acide nitrique sur du fer, ce qui avait conduit à une question, puis d'ajouter une solution contenant des ions cuivre également sur du fer, ce qui avait conduit à une autre question. Mettre ces deux questions en relation est effectivement intéressant.

Prof : la 1ère gris / la 2e rose / tout le monde a observé ça aussi / pourquoi est ce qu'on fait 2 fois l'expérience ?

Dans cette intervention le professeur essaie de faire la relation entre 2 expériences du TP. Il veut probablement s'assurer que les élèves ont compris leur rôle respectif : la première constituant une expérience de référence, et la seconde celle dont on analyse le résultat par rapport à la précédente.

Prof : oui mais là t'es sur mes Blinks / là pour comparer avec l'élément chimique qu'est ce que je montrais pour mon élément chimique entre la transformation 1 et la transformation 2. L'enseignant essaie de faire la relation entre le modèle (les Blinks) et l'expérience (le cuivre).

Le résultat de l'analyse est dans le graphe 1 en petit cercle noir et blanc nous pouvons voir qu'il y a eu 77.3% de questions hors textes et de 22.7% des questions textes. Si nous regardons la distribution des questions hors textes, nous remarquons ainsi, 75% des questions hors texte sont des questions provenant du contexte, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'il s'agit du débriefing d'un travail, mais qui relègue à un taux faible le reste des questions qui apporte un plus par rapport audit travail. Cette catégorisation nous a permis de comprendre la relation entre le corrigé et le travail prescrit pendant l'activité ainsi que la manière dont les professeurs rapportent leurs questions à ceux dérivées du texte de l'activité expérimentale, étant (i) plus concret (les questions de contexte), (ii) davantage abstrait (les questions méta), (iii) plus simple (les question de simplification), ou (iv) plus complexe (les questions de relation).



Graphique 1 Les différentes questions posées par l'enseignant lors de la séance de débriefing.

Cette catégorisation laisse 88 questions (17,6%) n'ayant pas été catégorisées, et qui sont pour l'essentiel des questions de poursuite de la question précédente, par exemple : « et alors », ou « et puis » ou « t'es d'accord ». Pour les débriefings de type corrigés étudiés ici, l'origine des questions posées est claire et d'ailleurs comme Carlsen (1992, 1997) le décrit de la façon suivante : « teachers questions to students served the immediate function of eliciting a student response to a scientific topic, as well as other functions, such as maintaining control of the students and the range of discussion topics ». Les questions textes sont lues par le professeur avec le texte de l'activité en main. Elles constituent un tiers seulement des questions posées pendant la séance. Les questions hors textes sont majoritaires et sont en lien avec ce qui s'est passé pendant l'activité, ou avec ce que l'élève

vient d'en dire. Ce sont rarement des questions méta ou de mises en relations, que l'on peut considérer comme les questions qui, de temps en temps, élèvent le débat.

Réponse des élèves

Les interventions des élèves ont été catégorisées en réponses aux questions de l'enseignant et questions à l'enseignant. Nous avons décompté 524 réponses et 19 questions. Nous remarquons qu'il y a une faible proportion de questions de la part des élèves. Ce qui est expliqué par le fait que toutes les interventions initiatives de l'enseignant sont des questions, du coup l'élève est face à une intervention réactive et qui doit logiquement être une réponse.

Nous nous sommes également posé la question de déterminer la nature des 524 réponses des élèves. Les catégories (voir figure 2) qui ont émergées de l'analyse et leur fréquence sont rassemblées dans ces quatre paragraphes, et des exemples sont donnés dans les paragraphes suivants.

Sur les 524 réponses, 212 étaient du type donner des interprétations de ce qu'il a fait, vu, perçu pendant l'activité. La démarche de l'élève pour interpréter peut être décrite de basique puisqu'il vient d'observer des changements de couleur, de dégagement de gaz etc. et qu'il estime nouveau ce qu'il fait et pas suite il essaie de l'interpréter.

D'un autre côté, 196 réponses relèvent de ce que nous appelons une observation, c'est-à-dire l'élève décrit une observation qu'il a faite, une couleur qu'il a vue, etc. lors de l'activité expérimentale. 64 réponses étaient des réponses courtes interprétées par l'élève comme un choix à la question de l'enseignant. Dans 27 réponses les élèves parlaient des manipulations d'objets faites lors du TP.

Par ailleurs, nous n'avons observé que 9 applications de formule, 10 mémorisations (l'élève s'en sert d'une connaissance mémorisée) et 6 prévisions faites lors de l'activité expérimentale.

Dans une réponse donnée d'un élève, il peut se trouver plusieurs catégories. Par exemple l'élève peut décrire son observation et l'interpréter lors de son intervention. Par exemple : « la tache est de couleur orangé, c'est celle du cuivre » fait apparaître une observation de la tache observée lors du versement de la solution acide nitrique sur la lame de fer (la tache est de couleur orangé) et d'une interprétation de cette observation (c'est celle du cuivre). Nous allons détailler toutes les catégories par la suite.

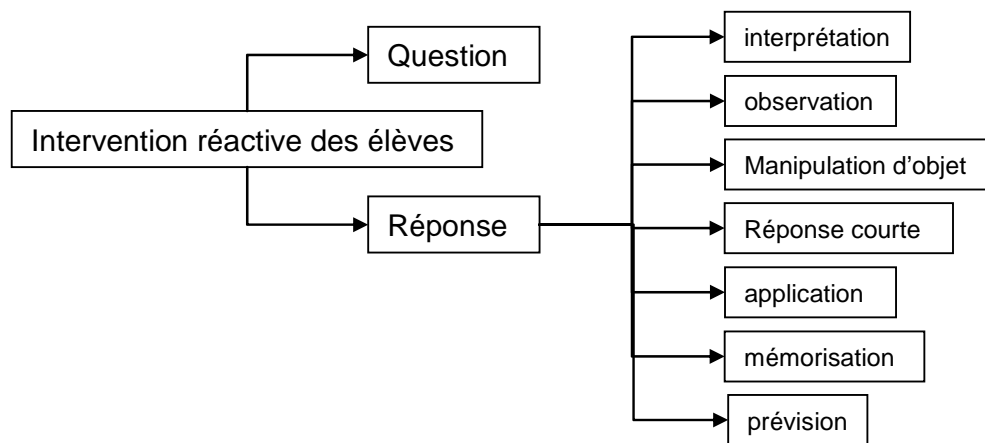


Figure 2 Catégorisation des réponses des élèves lors d'un corrigé d'activité expérimentale

La suite de cette sous-partie fournit quelques exemples de chacune des catégories qui viennent d'être évoquées.

- Les questions c'est quand l'élève pose une question à l'enseignant.

P : au début de la transformation au début de l'expérience on met de l'eau et du calcium dans un tube à essai et on observe après la transformation qu'il y a des ions hydroxydes du dihydrogène et des ions calcium d'accord alors tout le monde peut écrire une phrase bilan(?)

E : madame on ne peut pas les représenter sous une équation (?)

L'élève répondait à la question de l'enseignant par une question.

- Les interprétations quand l'élève décrit son interprétation à une observation faite lors de l'activité expérimentale.

Prof : [...] est ce que ça va maintenant si on dit le morceau de cuivre a disparu (?)

E : le cuivre il se dissout

Prof : non il ne se dissout pas

E : il se transforme

Les deux réponses des élèves sont des interprétations d'une observation faite (la disparition du cuivre). Ce qui fait qu'il « disparaît » est différent de il « se transforme » et il « se dissout ».

- Les observations c'est-à-dire dans sa réponse l'élève parle de ce qu'il a observé dans le TP.

Prof : on a mis du cuivre et de l'acide nitrique et alors qu'est ce qu'on observe (?)

E : c'est devenu bleu

Cette réponse montre que l'élève parle de la couleur bleue de la solution lorsqu'il a mélangé l'acide nitrique et le cuivre métallique. Il parle d'une observation faite lors de l'expérience.

- Les manipulations d'objets c'est-à-dire l'élève parle des actions qu'il a faites dans le TP et des objets qu'il a manipulés.

Prof : Alors on va voir ensemble peut être ce qui se passe/ce qui nous permet de dire ce TP / donc tout le monde a eu quasiment/ donc qu'est ce qu'on a fait au cours de ce TP

E : on a mis du cuivre et de l'acide nitrique

- Les réponses courtes c'est quand l'élève dans sa réponse fait un choix dans des items énoncés par l'enseignant. L'enseignant dans ces questions donne un choix.

Prof : des anions et des cations / si on mélange 2 solutions qui contiennent des anions et des cations des fois il y a un précipité pas toujours d'accord / donc ici est ce qu'il y a un précipité

E : non

La réponse courte de l'élève qui fait le choix entre oui et non à la question de l'enseignant.

- Les applications c'est quand l'élève applique par exemple une formule ou utilise une règle pour donner sa réponse.

Prof : (K)1 pour le Cl comment ça s'écrit la structure/ alors Maher

E : (K)2

Prof : alors (K)2

E: (L)8

Prof: (L)8

E: et (M)7

L'élève, dans ses trois réponses, était en train d'appliquer l'écriture de la structure électronique d'un atome.

- Les mémorisations c'est quand l'élève se sert dans sa réponse d'une mémorisation d'une connaissance.

Prof : [...] vous devez maintenant dans vos connaissances connaître la caractérisation des trois gaz que l'on rencontre souvent allez Camille tu me dis les trois gaz comment on les caractérise déjà que sont les gaz qu'on rencontre souvent en TP (?)

E: CO2

Prof : CO2

E : H2

Prof : H2

E : et O2

Profs : O2 allez Camille maintenant qu'on t'as donné les trois gaz CO2 comment je le caractérise

C : à l'eau de chaux

Dans les réponses des élèves, dans ce passage, nous pouvons remarquer les connaissances mémorisées à propos des gaz qu'ils retrouvent en TP au niveau de la classe de seconde.

- Les prévisions c'est quand l'élève après l'observation d'un ensemble de données est capable d'envisager une situation future.

Prof: et H₂/ maintenant on pense qu'on met Mg dans l'eau qu'est ce qu'on obtient

E : Mg²⁺

Prof : Mg²⁺

E : HO-

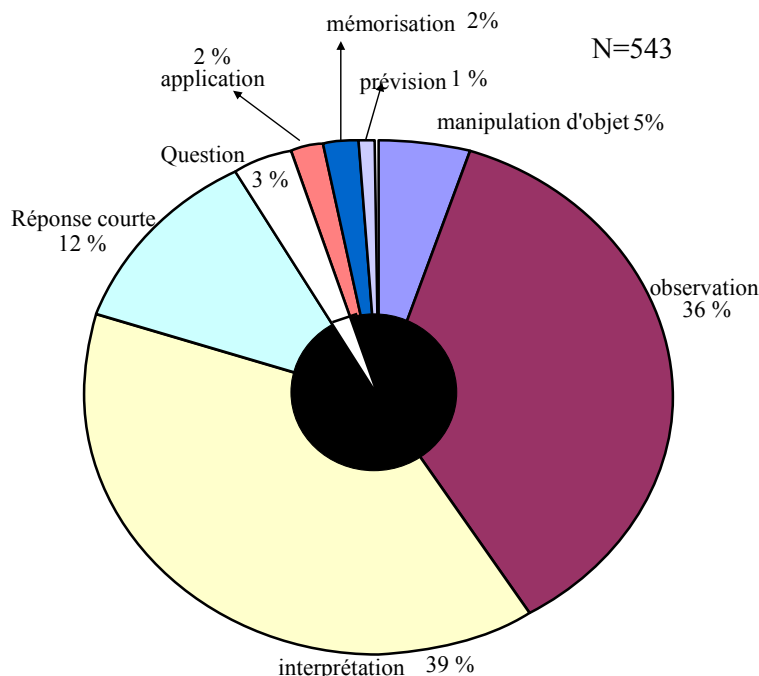
Prof : HO-

E : H₂

Les réponses des élèves dans ce passage montrent qu'après avoir observé le calcium dans l'eau l'élève prévoit pour le Mg qui se trouve dans la même colonne.

Le résultat de l'analyse est dans le graphe 2 en petit cercle noir et blanc nous pouvons voir qu'il y a eu 97 % de réponses et de 3 % de questions de la part des élèves. Si nous regardons la distribution des réponses, nous remarquons ainsi, 39 % d'interprétations et 36 % d'observations faites lors de l'activités expérimentales, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'il s'agit du débriefing où règne des questions faisant intervenir des observations et des interprétations sur ces observations. Cette catégorisation nous a permis de comprendre la relation entre le corrigé et le travail prescrit pendant l'activité ainsi que la manière dont les élèves interviennent lors du débriefing.

Les 543 interventions des élèves (524 réponses et 19 questions) sont à rapprocher des 410 questions texte et hors texte. Sur 3 enseignants et 12 débriefings-corrigés, chaque question s'est traduite par une intervention de la part de l'élève. Les autres centaines d'interventions sont à rapprocher aux 115 échanges enchâssés, ce que nous avons remarqué d'après nos transcriptions.



Graphique 2 les différentes interventions des élèves suite aux questions de l'enseignant.

Sur l'ensemble des débriefings, nous avons trouvé que suite à une question de texte de la part de l'enseignant, les élèves répondaient par une observation (49%) et interprétation (38%). Les réponses évoquant une manipulation d'objets, une application, une réponse courte ou une question formaient les 12 % restants. Le texte de l'activité demande la plupart du temps de décrire les observations faites lors du TP et de les interpréter, ce qui explique nos résultats.

Les élèves répondaient par une interprétation (40%), observation (29%), réponse courte (14%), et manipulation d'action (7%) suite à une question de contexte. Les 10% autres se répartissent entre les applications, mémorisations, prévisions et questions de la part des élèves. Leurs réponses étaient interprétation (57%), observation (21%), manipulation d'objet (14%) et réponse courte (7%) suite à une question de relation. L'enseignant à travers les questions de contexte et de relation stimulait les élèves à répondre en interprétant leur observation.

Suite aux questions méta de la part de l'enseignant, les élèves évoquaient des interprétations (73%), des manipulations d'objets (9%), des observations (9%) et des réponses courtes (9%). Les questions des enseignants qui s'interrogeaient sur l'intérêt d'une question du TP, ou de la connaissance correspondante faisaient réfléchir les élèves et demande une interprétation.

Ils répondaient en donnant une réponse courte (75%) ou en appliquant (25%) une connaissance déjà vue suite à une question de simplification. L'enseignant devant une

question bien complexe la simplifie afin que les élèves puissent répondre successivement à des petites questions ou applique de connaissances afin d'arriver à la réponse demandé.

Les élèves répandaient par une observation (56 %), interprétation (22%) et réponse courte (16%) suite à une question de suite. Les 6% autres se répartissaient également entre manipulations d'objets et question. Les questions de poursuite étaient la plus part du temps quand l'enseignant cherchait d'autres observations.

Catégorisation des évaluations de l'enseignant

Après la question de l'enseignant et la réponse de l'élève, l'enseignant intervient par son évaluation. Il s'agit de la troisième intervention de l'échange ternaire. Nous avons cherché à les regrouper dans quatre catégories (voir figure 3), suivant que l'enseignant intervient sur les termes de la réponse de l'élève (reformulation), sur les connaissances mises en jeu par l'élève, ou sur le fait qu'il contextualise, ou qu'il généralise des éléments de la réponse.

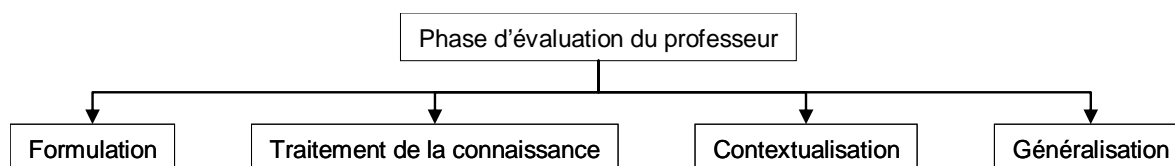


Figure 3 – Catégorisation des évaluations du professeur

Notre intérêt pour ces deux dernières catégories vient du fait que nous étudions une discussion de classe qui suit le TP, et nous croyons que l'utilisation de ce qui a été faite avec l'expérience, pour être employée comme contexte donné, ou pour être la base pour des rapports plus généraux, peut être un moment critique de l'enseignement et de l'étude. Le choix de ces deux dernières catégories a été guidé par l'importance, en science, du rôle complémentaire que jouent deux types de connaissances, le modèle, et le champ expérimental. Contextualisation et généralisation consistent à aller d'un type à l'autre, dans un sens ou dans l'autre. La généralisation consiste à énoncer une description ou une explication de façon indépendante d'un contexte spécifique.

Dans une évaluation donnée d'un enseignant, il peut se trouver plusieurs catégories. Par exemple l'enseignant peut porter un jugement ou effectuer une reformulation lors d'un échange sous la forme d'un « d'accord » d'un « non », « d'une correction » etc. Par exemple : « d'accord donc grâce à la phénolphtaléine ici on a dit qu'on identifie l'ion hydroxyde est-ce que c'est un anion ou un cation » fait apparaître un jugement sur la connaissance (le « d'accord ») et une reformulation (ce qui suit). Nous allons détailler toutes les catégories par la suite.

Suite aux 524 réponses d'élèves nous avons observé 791 actes d'évaluation en tout, catégorisés en 454 formulations (57%), 204 traitements de la connaissance (26%), 86

contextualisations (11%) et 47 généralisations (6%). Ces chiffres montrent l'importance donnée à la formulation (voir le graphe 2). Nous avons aussi constaté que la contextualisation et la généralisation se répartissaient souvent sur plusieurs échanges ternaires alors que les reformulations et le traitement de la connaissance étaient complétés dans un même échange ternaire. Dans ce qui suit nous allons détailler chacune de ces catégories pour ensuite synthétiser les différents résultats.

La formulation de la réponse de l'élève

Dans l'activité de formulation, l'enseignant intervient sur les termes de la réponse de l'élève et cette intervention peut être de la façon suivante (voir la figure 4). L'enseignant peut partir de la réponse de l'élève pour la répéter, la trier (sélectionner des éléments de la réponse) ou la formuler et peut utiliser une réponse antérieure pour reprendre une phrase ou la récapituler. Des exemples sont évoqués dans ce qui suit.

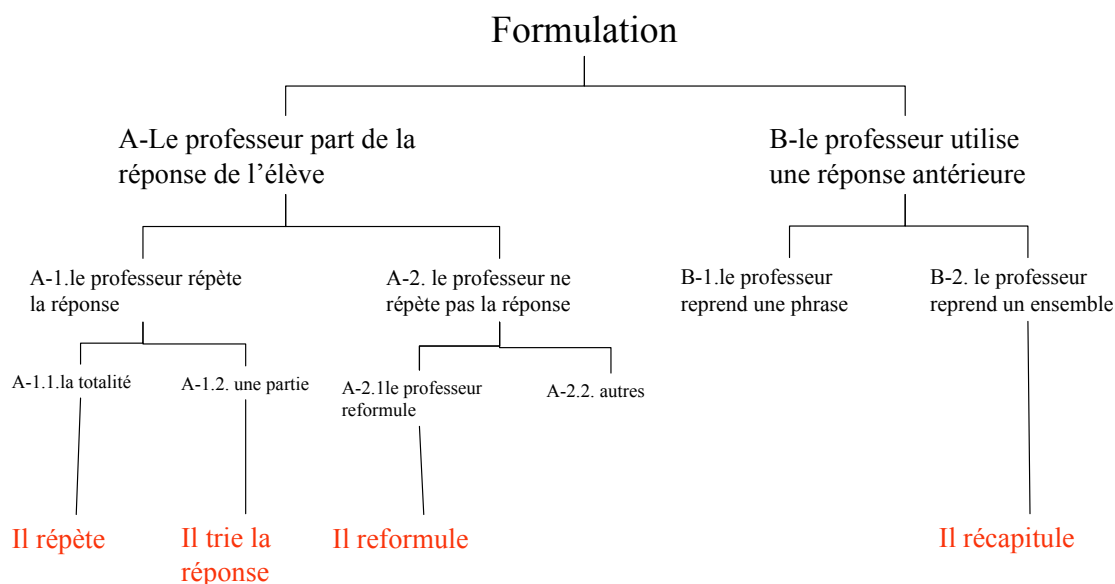


Figure 4 Catégorisation de l'activité de formulation de l'enseignant.

- L'enseignant répète la réponse de l'élève quand il redit ce que l'élève a déjà dit

E : c'est ce qui relie 2 atomes

Prof : c'est ce qui relie 2 atomes / donc une liaison chimique covalente ça serait ce qu'on appelle un doublet partagé ou un doublet liant, il est entre 2 atomes de la molécule /ici un doublet non partagé ou est ce qu'il va se situer.

- L'enseignant trie ou sélectionne la réponse de l'élève quand il sépare, dans l'ensemble (de la réponse) des éléments qu'il va conserver d'autres qu'il va éliminer. Autrement dit il sélectionne certains éléments de sa réponse.

E : bon ben après ils disent quand on voit que la réaction est terminée ils nous demandent d'ajouter de l'eau non des gouttes d'acide nitrique sur la lame de fer

Prof : donc on a rajouté sur la lame de fer une fois de l'acide nitrique et puis après qu'est ce que vous avez fait ?/ une goutte de la solution obtenue / qu'est-ce qu'on observe dans ces deux cas ?

Dans cet exemple nous remarquons que l'enseignant sépare, dans l'ensemble de la réponse de l'élève des éléments qu'il a conservés et d'autres qu'il a éliminés.

- L'enseignant reformule quand il formule la réponse de l'élève d'une autre façon en ajoutant ou en éliminant des éléments et également en changeant l'ordre des mots.

E : pour savoir s'il a une structure en octet il faut compter le nombre d'électrons périphériques et trouver 8 électrons

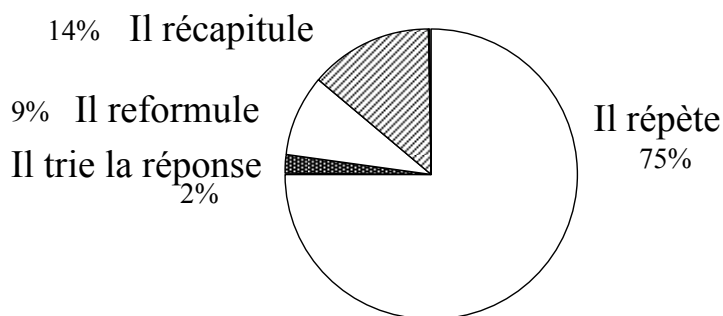
Prof : pour être une structure en octet il faut avoir 8 électrons sur sa couche périphérique ou sur sa dernière couche ça c'est le premier énoncé du modèle / alors est ce que le carbone a une structure en octet Najet

Dans cet exemple, l'enseignant reformule la réponse de l'élève en changeant l'ordre de ses mots.

- L'enseignant récapitule quand il redit en résumant point par point les points principaux et essentiels dans les différentes réponses des élèves. La récapitulation elle peut s'étendre sur plusieurs échanges ternaires.

Prof : alors après on vous demande qu'est ce qui s'est conservé, la tête le noyau donc lui il a dit que c'était une tête (noyaux, point noir), donc en gros ça veut dire le nombre qui est conservé et le point qui est au milieu que vous avez nommé d'une façon ou d'une autre,

Dans cette intervention, l'enseignant redit les différentes réponses des élèves en résumant.



Graphique 3 Les différentes catégories de formulation et leur répartition dans les différents débriefings.

Les 454 formulations sont à rapprocher des 410 questions texte et hors texte. Sur 3 enseignants et 12 débriefings-corrigés, chaque question s'est traduite par une reformulation

de la réponse de l'élève. Celles-ci se répartissent (voir graphe 3) en 340 répétitions de ce qu'a dit l'élève, 10 répétitions d'une partie seulement, 41 réelles reformulations (avec d'autres termes pour exprimer la même idée), 62 récapitulations, et 1 reprise d'une phrase d'une réponse d'un échange ternaire antérieur. L'abondance des répétitions (voir graphe 1) permet de s'assurer que toute la classe a bien entendu la réponse de l'élève et doit être comparée aux seules 10 répétitions partielles. Celles-ci peuvent être considérées comme un tri de l'information contenue dans la réponse de l'élève, tri qui n'est que rarement fait. Les 41 reformulations et les 62 récapitulations, qui apportent effectivement de l'information, constituent seulement 25,8% des 410 questions (texte et hors-texte), et 13,1% des évaluations.

Le traitement de la connaissance dite par l'élève

Dans l'activité de traitement de la connaissance dite par l'élève, l'enseignant intervient sur les connaissances mises en jeu par l'élève. Des exemples sont donnés dans le paragraphe suivant. Trois activités peuvent être faite par l'enseignant (voir la figure 5) soit :

- ✗ de porter un jugement sur la réponse de l'élève en la corrigeant ou en la validant.
- ✗ d'accepter et de partir de la réponse de l'élève pour justifier ou fait le lien avec un événement
- ✗ d'ajouter de nouvelles connaissances sans ou avec un modèle.

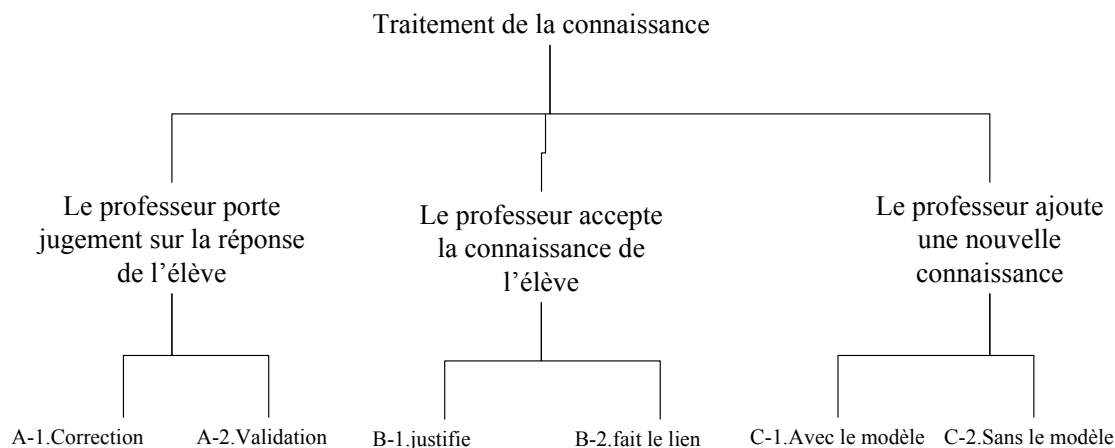


Figure 5 les différentes catégories de l'activité de traitement de la connaissance mise en jeu par l'élève.

- L'enseignant porte un jugement sur la réponse de l'élève, positif quand il valide la réponse de l'élève et négatif quand il corrige la réponse.

Prof : pour être une structure en octet il faut avoir 8 électrons sur sa couche périphérique ou sur sa dernière couche ça c'est le premier énoncé du modèle / alors est ce que le carbone a une structure en octet Najet

E : non

Prof : d'accord on a dit qu'il en avait 4 c'est pas 8 il n'a pas une structure en octet /un doublet non partagé peut –il constituer une liaison chimique covalente, expliquer pourquoi et là on vous dit à l'aide du modèle 3/ de l'énoncé 3 d'ailleurs

Dans cette intervention, nous remarquons que l'enseignant porte un jugement positif sur la réponse de l'élève en la validant.

- L'enseignant fait le lien quand il essaie de donner la relation entre divers questions ou bien quand il fait la relation entre le modèle et l'exercice.

Prof : donc maintenant qu'on en a répondu justement sur ces Blinks la question qui se pose les Blinks la contenu de la boîte s'est transformé là on a fait des transformations est ce qu'on peut raisonner un peu de la même façon / ça veut dire qu'est ce qui s'est conservé qu'est ce qui ne s'est pas conservé pendant la transformation et on parle de quelle transformation ici

Dans cet extrait de transcription l'enseignant traite la connaissance en faisant le lien entre les Blinks (qui sont des êtres imaginaires vu dans le chapitre 4) et le cuivre.

- L'enseignant justifie quand il montre la vérité d'un événement en se référant à des normes bien précises ou sur une référence pour baser la validation.

Prof : mais l'observation c'est tout le monde a mis un morceau et peut être là ceux qui ont mis un grand morceau peut être là qu'on est à la fin du TP que maintenant non c'est même pas encore fini

Dans cet exemple l'enseignant apporte une nouvelle connaissance en expliquant un événement qui n'a pas été observé par tout le monde (la fin de la réaction)

1.3.1. • L'enseignant ajoute une connaissance avec du modèle quand il met en jeu dans ses productions verbales des nouvelles connaissances en rapport avec les modèles de la chimie.

E : CuSO4

Prof : Cu c'est ce qu'on appelle quoi ?

E : c'est la formule chimique du cuivre

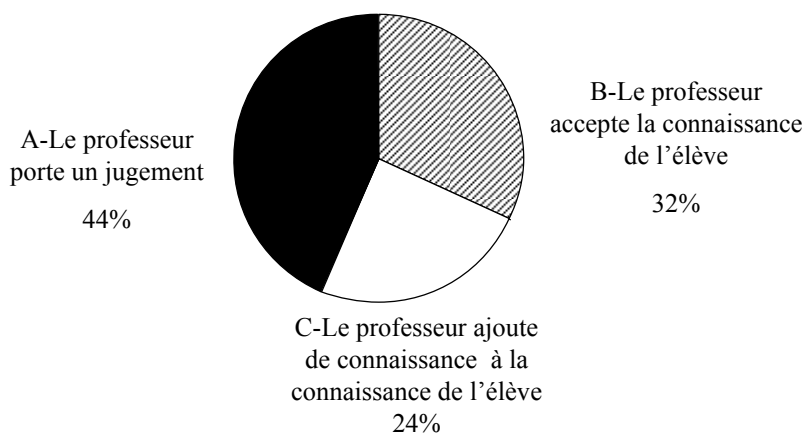
Prof : c'est la formule chimique du cuivre, c'est son symbole, donc l'élément chimique quand il y a l'élément chimique qui est présent, on peut toujours utiliser le même symbole va toujours ça se conserve et on utilisera toujours les lettres mais dans CuSO4 c'est pas l'atome justement il y a 2 charges positives anion Cu²⁺.

Dans cet exemple l'enseignant, dans la deuxième intervention, répète la réponse de l'élève, généralise et puis ajoute une nouvelle connaissance en rapport avec la structure de l'atome (atome, ion etc.) « *mais dans CuSO_4 c'est pas l'atome justement il y a 2 charges positives anion Cu^{2+}* »

1.3.2. • L'enseignant ajoute une connaissance sans du modèle quand il met en jeu dans ses productions verbales des nouvelles connaissances qui ne sont pas en rapport avec les modèles de la chimie.

Prof : quand il n'est plus là alors pourquoi t'as dit qu'il se dissous ? quand est-ce qu'on utilise dissous dans le vocabulaire courant on utilise se dissout, quand est ce que vous dissolvez / on utilise « se dissout » par exemple quand on met un morceau de sucre dans votre thé là il se dissous pour le cuivre ici c'est pas tout à fait ce qui se passe on verra le bon terme qu'il faut utiliser ce qu'on peut dire de toute façon c'est que le morceau de cuivre quand est ce qu'on sait que la réaction est terminé.

Dans cet extrait de transcription, nous pouvons remarquer que l'enseignant dans son intervention ajoute des connaissances « *qu'on utilise dissous dans le vocabulaire courant on utilise se dissout, quand est ce que vous dissolvez / on utilise « se dissout » par exemple quand on met un morceau de sucre dans votre thé là il se dissous* ». Cet ajout de connaissance en rapport avec la vie quotidienne permet d'aider l'élève pour la compréhension de l'utilisation du terme dissoudre dans la chimie.



Graphique 4 Les différentes catégories de traitement de connaissance et leur répartition dans les différents débriefings.

• Parmi les 204 traitements de la connaissance, les enseignants ont, par 89 fois, portés un jugement sur la connaissance, ils ont, par 65 fois, utilisé la connaissance de l'élève et, 50 fois, ajouté des connaissances qui n'étaient pas dans la réponse (voir le graphique 4). Ces deux

dernières catégories totalisent 115 évaluations et constituent l'apport effectif de connaissances des professeurs. Ce chiffre, valant pour les 12 corrigés étudiés, constitue un faible apport à chaque séance. Il s'agit d'une des faiblesses de la pratique enseignante que constitue le corrigé d'une activité.

La contextualisation et la généralisation

- L'enseignant contextualise quand il met en relation la connaissance introduite par l'élève avec le contexte de l'activité (voir d'un autre contexte).

E : Cu anion

Prof : Cu anion et puis après il était sous la forme d'un précipité $\text{Cu}(\text{OH})_2$ et puis après il était sous la forme d'un autre ion qui était bleu céleste et après quand on est revenu à Cu^{2+} en comparant avec la solution de départ, donc ici le cycle qu'avait écrit c'est pour un élément cuivre / d'accord donc ça c'est noté au cours d'une transformation chimique, les éléments sont conservés/ alors quand on dit que les éléments sont conservés est ce que ça veut dire que ça ..

Dans cet exemple l'enseignant contextualise la situation de l'activité et passe à sa généralisation par la suite «*au cours d'une transformation chimique, les éléments sont conservés*».

- L'enseignant généralise la connaissance introduite par l'élève. La connaissance devient alors utilisable dans d'autres situations.

E : le cuivre a changé de forme et d'aspect

Prof : on pense que le cuivre a changé de forme et d'aspect sa couleur a changé aussi le mot qu'on va utiliser pour dire qu'au départ on a du cuivre et après on a toujours du cuivre ça veut dire ce cuivre cuivre on va dire on ne dit pas ça on va dire que l'élément chimique s'est conservé.

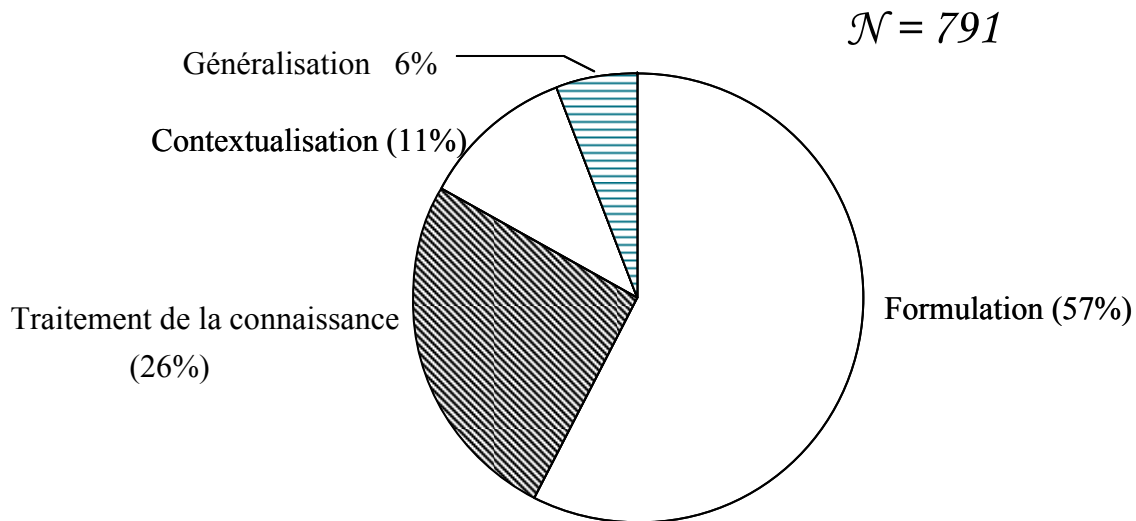
Dans cet exemple l'enseignant généralise le concept de la conservation de l'élément chimique, de même que dans l'exemple précédent.

Nous avons remarqué que l'enseignant passe d'une contextualisation à une généralisation et vice versa.

Enfin, nous avons observé 86 contextualisations et 47 généralisations qui constituent aussi des moments importants de l'apprentissage, où la relation entre le champ expérimental et le modèle est centrale. Nous pensons que ces chiffres dépendent fortement, du type d'activité et du champ scientifique dans lequel l'étude est effectuée, en relation avec l'importance du modèle dans l'activité expérimentale.

Synthèse des résultats de l'activité d'évaluation de la réponse de l'élève

Suite aux 524 réponses d'élèves nous avons observé 791 actes d'évaluation en tout, catégorisés en 454 formulations (57%), 204 traitements de la connaissance (26%), 86 contextualisations (11%) et 47 généralisations (6%).



Graph 5 les différentes évaluations de l'enseignant suite à la réponse des élèves dans les différents débriefings.

Le graph 5 montre l'importance donnée à la formulation dans l'évaluation de l'enseignant. Le traitement de la connaissance occupe seulement une petite partie du temps d'enseignement.

Mais la contextualisation et la généralisation qui sont fondamentaux et forment l'une des bases en science, occupent une petite partie dans le dialogue et particulièrement dans l'évaluation de l'enseignant.

Les pourcentages de chaque catégorie peuvent expliquer pourquoi les enseignants peuvent se sentir inconfortables au sujet d'une telle discussion. Du point de vue des enseignants, l'information a été obtenue pendant les interviews et les différentes réunions du groupe SESAMES, beaucoup d'étudiants (parmi les bons) s'ennuient pendant de telles discussions. Notre analyse peut aider à comprendre ce sentiment négatif. Les étudiants connaissent 22.7% des questions (les questions textes) et 44.8% sont en rapport avec ce qu'ils ont vu et fait lors du TP (qui est pauvre en termes de connaissance). D'ailleurs, l'enseignant passe beaucoup de temps en répétant les réponses des élèves. Les élèves dans leurs interventions passent leur temps à décrire et interpréter les observations faites pendant l'activité expérimentale. Et le traitement de la connaissance prend seulement une petite partie du temps d'enseignement.

Apparition des facettes

L'étude didactique des débriefings de type corrigé a montré que les facettes de connaissances du professeur étaient presque toutes dans les phases d'évaluation. Nous avons constaté que le corrigé d'une même activité ne mettait pas en jeu les mêmes facettes, ni parfois le même nombre de facettes suivant l'enseignant. De même, si un enseignant donné corrige une même activité deux fois de suite (avec deux demi-classes), ou deux ans de suite, on n'observe pas le même nombre de facettes. Pour H, par exemple, nous avons observé (pour un corrigé d'une quinzaine de minutes) 11 facettes avec un groupe d'élèves et 6 avec le groupe suivant ; et l'année suivante, c'était 12 facettes avec un groupe et 16 avec le groupe suivant. Nous n'avons pas assez de données pour déterminer l'origine de cette variabilité importante, mais certains paramètres comme le temps que le professeur peut consacrer à son corrigé, peut être un facteur. Une autre cause peut être le fait qu'un enseignant peut penser qu'il a déjà dit quelque chose et confondre avec le groupe d'avant. Nous pouvons également envisager que, les facettes diffèrent parce qu'elles apparaissent dans des interventions d'évaluations fortement liées aux réponses des élèves, et dépendent donc du contexte d'enseignement.

Cas de l'activité Élément chimique (EC)

Nous avons comparé le nombre de facettes apparaissant lors d'un corrigé, pour un enseignant, aux facettes que l'on peut trouver dans les encadrés d'un manuel scolaire du chapitre correspondant. Nous faisons pour cela l'hypothèse que les textes mis en valeur par des encadrés regroupent l'essentiel du savoir à enseigner. Pour l'activité sur l'élément chimique, nous avons trouvé entre 4 et 7 facettes relatives (voir dans l'annexe 6 document 6 a) aux concepts sensibles dans les différents manuels scolaires

Ces facettes sont pratiquement les mêmes d'un manuel à l'autre. Par exemple, la facette F_{EC6} : *Les éléments chimiques se conservent lors des transformations chimiques*, ou bien, F_{EC3} : *L'élément chimique est caractérisé par son numéro atomique* sont universellement utilisées. En revanche, la facette F_{EC4} *L'élément chimique a le même symbole que l'atome de même numéro atomique* ne se retrouve pas dans tous les ouvrages, peut-être parce qu'il s'agit d'une précision qui peut paraître évidente pour d'autres auteurs.

Lors du débriefing de l'activité correspondante, nous avons constaté que les enseignants ont proposé 24 facettes que nous avons regroupées en catégories : catégorie A pour celles qui concernent la conservation de l'élément chimique (il y en a eu 5), catégorie B pour celles liées à une transformation chimique (il y en a eu 13), et catégorie C pour les caractéristiques de l'élément chimique (il y en a eu 6). Chaque enseignant, pendant un corrigé donné, a utilisé entre 6 et 12 facettes. Pour un cours ayant suivi les corrigés, un des enseignants a utilisé 11 facettes. Ces chiffres diffèrent peu du nombre de facettes relevées dans un manuel.

Pour autant, seules 2 facettes se sont révélées être communes à tous les enseignants : F_{EC}L4 et F_{EC}L6 mentionnées ci-dessus. Beaucoup d'autres facettes ont donc été utilisées par les enseignants.

Nous avons constaté que, pour ces corrigés et pour ce cours, 5 facettes sont utilisées pour traduire l'aspect conservatif de l'élément chimique : F_{EC}L6 et d'autres telles que F_{EC}A2 : *L'élément chimique cuivre se conserve* ; F_{EC}A3 *L'élément chimique est toujours là* ; F_{EC}A4 *L'élément chimique cuivre c'est toujours l'élément cuivre* ; et F_{EC}A5 *L'élément chimique est toujours présent mais ne forme pas une entité*. Les enseignants ont utilisé également 13 facettes pour traduire les changements liés à une transformation chimique par exemple F_{EC}B1 : *L'élément chimique cuivre change de couleur*, et 6 facettes sur les caractéristiques de l'élément chimique comme par exemple F_{EC}B1 : *L'élément chimique a un symbole* ; F_{EC}C2 : *Le nombre [d'élément chimiques] est conservé*, etc.

Les facettes utilisées par les enseignants apparaissent beaucoup moins complexes que celles relevées dans le manuel. Celles des manuels mettent en jeu plus de concepts (entre 2 et 4 avec une moyenne de 3,0). A part les deux facettes communes dont il a été question précédemment, les enseignants mettent en jeu le plus souvent : 1 ou 2 concepts seulement pour les facettes F_{EC}A avec une moyenne de 1,2 ; de même pour les facettes B et C (A, B et C sont les groupes de facettes précédemment définis). La différence quantitative peut être en rapport avec la différence entre une expression écrite (manuel) et orale (enseignant). La différence qualitative peut être en rapport avec la relation avec l'activité expérimentale (évaluation de contexte) qui oriente le professeur vers l'utilisation de facettes à 1 concept sensible (*L'élément chimique est en solution* ; *L'élément chimique cuivre change d'état* ; etc.)

Cas de l'activité Modèle de Lewis (ML)

La séquence d'enseignement incorporant l'introduction du modèle de Lewis a été légèrement différente pour les deux enseignants H et M que nous avons observés. H a donné le modèle à lire à la maison, accompagné de 4 questions, avant de l'utiliser en classe. La préactivation, c'est-à-dire la correction de ces 4 questions avant de proposer aux élèves de traiter l'activité, a duré 6 min 50 s et 6 min 53 s pour chaque demi-classe. Puis les élèves ont réalisé la première activité de la séance en 11 min pour les élèves de H, et 20 min pour ceux de MC. Chaque enseignant a corrigé l'activité, en 10 min 05 s et 12 min 37 s pour H, et en 9 min 04 et 7 min 01 s pour M.

Plusieurs différences de durées apparaissent dans le tableau 3. Elles s'expliquent de la façon suivante : (1) les élèves de H ont été plus rapides : entre 9 min et 10 min 27 chez H, et entre 20 et 27 min chez M qui n'avait pas préactivé le modèle. Suivant toute vraisemblance, la lecture du modèle est difficile et prend du temps. (2) Le corrigé a duré plus chez H que chez M, car H a fait en sorte de laisser fréquemment la parole aux élèves, on décompte 30 et 38

échanges ternaires, alors que M (qui s'est ensuite dite pressée par le temps) ne questionnait la classe qu'après de longs monologues. Il n'y a eu que 9 et 7 échanges ternaires. On comprend que, pour gérer la perte de temps due à la lenteur de ses élèves lors de l'activité, M a conservé la parole au lieu de la partager avec la classe. Pour autant, le nombre de facettes apparues pour ces deux collègues est peu différent (voir Tableau 4), attestant d'un contenu proche.

Enseignant	Introduction du modèle	Préactivation	Activité	Corrigé
HE	A la fin de la séance précédente, et accompagné de 4 questions	6 min 50 s	10 min 27s	10 min 05 s
		6 min 53 s	9 min 00 s	12 min 37 s
MC	Au début de l'activité	non fait	20 min 07s	9 min 04 s
			27 min 43s	7 min 01 s

Tableau 3 – Déroulement de la séance et durée des différentes phases pour deux demi-classes.

Nous avons constaté que les enseignants utilisaient entre 16 et 21 facettes que ce soit pour une préactivation ou un corrigé (voir Tableau 4 – ci-dessous). Chaque corrigé étudié (préactivation, ou activité) a mis en jeu le même modèle, et celui-ci semble nécessiter une vingtaine de facettes pour fonctionner. Ces facettes étant variables d'un enseignant à l'autre et d'un corrigé à l'autre, et il en a résulté 100 facettes mises en jeu en tout (annexe 6 document 6 b). Nous pouvons remarquer que lors de ce type de sujet (Le modèle de Lewis) les enseignants mettent en jeu un plus grand nombre de facettes en comparant avec celles de l'élément chimique.

La raison de l'abondance des facettes retrouvées dans les corrigés semble lié au fait que cette activité met en jeu le texte d'un modèle qui gère les connaissances théoriques définissant et utilisant un grand nombre de concepts sensibles : molécule, liaison covalente, et doublets d'électrons liants et non liants, à partir des termes électrons, couches électroniques, règle du duet et de l'octet, et d'ions monoatomiques. Ce texte peut être analysé en termes de facettes. Il en contient 18 dont 12 sont communes avec un des manuels utilisés, et 1 avec le texte de l'activité (voir annexe 1 document 1 b). Le manuel fait apparaître 29 facettes. Sur les 100 facettes utilisées par les 2 enseignants lors de 2 préactivations, 4 corrigés et 1 cours, peu de facettes sont strictement présentes dans le modèle (entre 2 et 8 suivant les cas – Tableau.4). Cela indique que la plupart des facettes apparaissant dans les discours des enseignants sont spontanées. On constate que l'ordre de grandeur du nombre de facettes dans chaque situation est proche de celui présent dans le texte du modèle. Cela peut laisser penser que le modèle de Lewis, quelque soit la situation (corrigé ou préactivation), requiert l'usage d'une vingtaine de facettes. Le cours filmé a permis à l'enseignant d'en introduire un plus grand nombre, 30, nombre curieusement voisin du nombre de facettes présentes dans le cours du manuel, 29. Nous ne disposons pas de données suffisantes pour généraliser mais il se trouve qu'un corrigé, dans les cas étudiés, est moins riche qu'un cours d'enseignement ou de manuel.

Dans le cours étudié le nombre de facettes remarqué était 30 tandis que dans un corrigé était 20.

(ML)	HE Préact 1	HE Corrigé 1	HE Préact 2	HE Corrigé 2	HE Cours	MC Corrigé 1	MC Corrigé2	Cours du manuel
Facettes modèle	4	8	4	7	2	6	2	12
Facettes totales	15	19	19	21	30	19	16	29

Tableau 4 Nombre de facettes du modèle utilisées par chaque enseignant dans chaque situation, et nombre de facettes totales.

Si les facettes sont en nombres comparables dans le modèle et pour son utilisation par un enseignant lors d'un corrigé, leur complexité est moindre dans le discours oral de l'enseignant que dans le texte écrit du modèle. Parmi les 100 facettes utilisées par les enseignants, 6 ne font intervenir que 1 concept : F_{ML}A1 : par exemple, *La liaison covalente est représentée par un trait* ; 49 en font intervenir 2 comme dans FMLB3 : *Un doublet représente 2 électrons* ; 22 en font intervenir 3 comme dans FMLC6 : *Chaque atome de la molécule respecte la règle de stabilité* ; 9 en font intervenir 4 ; 5 en font intervenir 5 ; 1 en fait intervenir 6 ; 4 en font intervenir 7 ; 3 en font intervenir 8. Par ailleurs 1 facette a fait intervenir 9 concepts (voir Tableau.5). Cette différence de complexité entre le discours oral et le texte du modèle n'est certes pas surprenante puisqu'un texte écrit est forcément plus travaillé et aboutit donc à un nombre supérieur de concepts en relation (à quelques rares exceptions près). Il apparaît que, à part quelques facettes mettant relation 7, 8 ou 9 concepts, les facettes du modèle sont plus complexes que celle du cours du manuel (voir le pic pour 7 concepts en relation), qui sont elles-mêmes moins complexes que celles du discours des enseignants (voir le pic pour 5 concepts en relation dans la figure 7).

Nombre de concepts par facette	Enseignants %	Livre %	Modèle %
1	6	0	6
2	49	48	39
3	22	38	17
4	9	0	0
5	5	14	17
6	1	0	0
7	4	0	22
8	3	0	0
9	1	0	0

Tableau 5 – Complexité des facettes et leur pourcentage d'apparition dans le discours des enseignants, du cours du livre, et du texte du modèle.

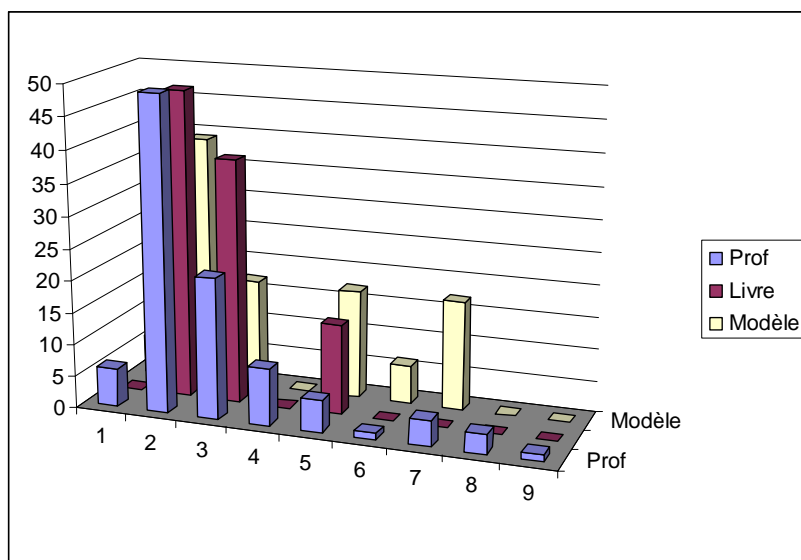


Figure 7 – Représentation des données du tableau 5.

Les fréquences d'apparition des concepts sensibles mis en relation par les enseignants, au sein des facettes, diffèrent notablement des fréquences dans le texte du modèle ou du cours du livre. Le concept le plus convoqué par les enseignants et dans le cours du livre est celui d'atome avec 24,4% dans les facettes des enseignants, et 25,9% dans le cours du livre, mais c'est celui d'électron dans le modèle avec 31,3%, l'atome n'apparaît qu'en second avec 25,4%. L'électron apparaît avec une fréquence de 23,1% chez les enseignants, 22,2% dans le livre, et 25,4% dans le texte du modèle. Pour les concepts moins utilisés, il en est de même, de nombreuses inversions apparaissent (Tableau.6). L'utilisation d'un modèle apparaît dans ce cas différent suivant les situations.

Concept	atome	électrons	liaison covalente	doublets L	doublets NL	structure octet	doublent
Prof	24,4	23,1	9,8	8,5	6,4	5,6	4,3
Livre	25,9	22,2	9,9	4,9	3,7	4,9	1,2
Modèle	25,4	31,3	6	7,5	4,5	3	4,5

Concept	structure duet	couche	molécule	règle de stabilité	ion	éléments	z numéro atomique
Prof	4,3	3,8	3,8	3,4	1,7	0,4	0,4
Livre	4,9	8,6	4,9	1,2	4,9	0	2,5
Modèle	3	4,5	6	0	3	0	1,5

Tableau 6 – Pourcentage d'apparition des concepts sensibles dans les facettes de connaissances chez deux enseignants (1^{ère} ligne), dans le cours du livre (2^e ligne) et dans le texte du modèle (3^e ligne).

Une instanciation du modèle a été remarquée dans le débriefing de M lors de la séance de ML. Son débriefing consistait en une relecture de la partie du modèle, faire quelques brefs commentaires, puis de montrer (par deux fois) comment fonctionne le modèle dans la réponse à la question.

Prof : [...] donc là ça va servir pour répondre à la question d'un doublet liant, c'est-à-dire une liaison chimique covalente est donc représentée par un trait entre les symboles de 2 atomes, et un doublet non partagé est représenté par un trait à côté du symbole d'un atome/ ça veut donc dire qu'ici j'avais [elle écrit au tableau] là c'est un doublet partagé [elle montre le trait entre H et Cl ou la liaison covalente] / donc ce qu'on appelle un doublet liant / [alors qu'ici elle montre les doublets de Cl,] ils ne sont pas partagés ici j'ai en tout 3 doublets non partagés/ donc pour le chlore ces électrons là ils ne les partagent pas, ils les gardent pour lui / [...] maintenant je m'intéresse car j'ai dessiné la molécule/les deux électrons d'un doublet qui lient deux atomes A et B font partie des électrons qui entourent l'atome A et des électrons qui entourent l'atome B/ donc là dans la question utiliser l'énoncé 3 et 4 pour savoir si on a le respect/ donc si on étudie H dans la molécule / donc là je m'intéresse à H dans la molécule HCl / on ne s'intéresse qu'à lui alors donc j'ignore Cl [elle cache Cl sur le tableau] on a dit que ce qui participait à la liaison covalente c'est le doublet partagé il fallait le compter comme les électrons qui entourent H/

Dans cet extrait de transcription nous remarquons une utilisation explicite du modèle en l'instanciant dans la situation de la question.

Cas de l'activité Classification périodique (CP)

Les cours des manuels relatifs à l'activité CP font apparaître entre 12 et 19 facettes (annexe 6 document 6 c) alors que H, lors de son corrigé, en propose 4 : 2 facettes mis en jeu 2 fois : « on change de ligne quand on est arrivé à une couche », et « les éléments qui sont dans la dernière colonne forment la famille des gaz rares ou nobles » ; M en propose 5 : une seule

facette répétée 5 fois « s'il est dans la même colonne il réagit de façon similaire » ; et D en propose 3 (une seule facette 3 fois, la même que M). Ce corrigé apparaît donc pauvre au regard de ce qu'un cours pourrait dire.

Si l'on compare cette activité avec celle relative au modèle de Lewis qui a 29 facettes dans le manuel, il apparaît que les enseignants proposent plus de facettes différentes en corrigeant *ML* que *CP* : 6 facettes différentes pour le premier groupe d'élèves et autant pour le deuxième groupe pour H, et 4 pour le premier groupe et 5 pour le deuxième groupe pour M. Cette abondance de facettes utilisées par les enseignants dans l'activité *ML*, comparée à *CP*, peut se comprendre parce qu'ils disposent du texte d'un modèle, et que l'activité a explicitement questionné ce modèle. Ce n'est pas le cas avec l'activité *CP*. Cette différence de structure d'activité montre ces effets jusque dans son corrigé. Pour autant, nous constatons qu'une petite (voir très petite) proportion des facettes susceptibles de se trouver dans un cours (selon la démarche transmissive) apparaît dans les corrigés. Or en l'absence de cours, les corrigés sont les seuls moments d'une séquence d'enseignement constituée d'un enchaînement activité / corrigé pour lequel l'enseignant participe en classe entière à la construction des connaissances.

Nous avons aussi constaté que, lors du corrigé de l'activité *CP*, des facettes relatives à des concepts de chapitres antérieurs étaient utilisées par les enseignants. Il s'agit là d'une intéressante observation sur la continuité du savoir pendant un enseignement par activités. Nous pouvons dire que c'est une activité spécifique du débriefing et pas nécessairement du débriefing-corrigé. C'est ce qu'on va voir aussi dans les autres types de débriefings ultérieurement dans cette thèse. Par exemple dans le corrigé en classe entière de *CP*, H manipule 38 facettes dont 12 sont des facettes déjà utilisées lors du corrigé de *EC*, et 10 avec celui de *ML*.

Remarques concluantes et implications pour l'enseignement

L'approche linguistique et didactique des corrigés d'activités a évoqué l'intérêt de cette pratique enseignante imposée par les programmes, mais a montré ses limites si l'enseignant se restreint à la corriger. Les débriefings de cette classe que nous avons observés sont surtout des discussions de classe. Il a été de loin le plus fréquemment observé. Il nous semble constituer la forme la plus immédiate de débriefing qui permette au professeur de respecter le contrat bien accepté que si des questions sont posées à la classe par celui-ci, il se doit d'y revenir.

Une partie seulement du savoir est mise en jeu, et une partie conséquente des échanges ternaires n'apporte que peu d'informations consistantes sur les concepts sensibles. La discussion ci-dessous reprend certains des inconvénients et des avantages des corrigés, et

propose quelques pistes, d'une part en utilisant le manuel scolaire, et d'autre part en élargissant le champ des débriefings possibles.

La définition du débriefing-corrigé

Les débriefings corrigés au cours desquels le professeur corrige tout ou partie des questions qu'il a posées lors de l'activité. La structure du débriefing suit alors celle de l'activité. Les débriefings sont surtout des discussions de classe. C'est une forme qui permette au professeur de respecter le contrat bien accepté que si des questions sont posées à la classe par celui-ci, il se doit d'y revenir.

Inconvénient de la forme corrigé d'un débriefing

En se laissant plus ou moins guider par le texte de l'activité pour le corriger, et en prenant en compte les éventuelles confusions repérées sur les copies, le professeur ne se met pas dans une situation où il importe que l'interaction soit dialogique ou d'autorité. C'est une forme de confort. Par ailleurs, se laissant guider par le texte de l'activité, il se prive d'une structure différente qui pourrait être plus adaptée pour présenter l'ensemble des connaissances du domaine étudié.

Les corrigés d'activités qui interviennent sous la forme d'une discussion de classe sont donc des moments où le professeur revient beaucoup sur ce qu'a fait l'élève, autant au moment des questions (87 contextualisations sur 223 questions de contexte) que lors des évaluations des réponses des élèves, avec les nombreuses répétitions.

Les étudiants connaissent 22.7% des questions (des questions des textes) et 44.8% sont en rapport avec ce qu'ils ont vu et ont fait lors du TP (qui est pauvre en termes de connaissance). Nous avons remarqué, et hypothèse validée par les professeurs lors des réunions du groupe, que dans ses débriefings-corrigés l'enseignant se sente obligé de répondre aux questions du texte de l'activité. Il semble faire partie d'un contrat que cette discussion doit se produire et qu'il doit y revenir à ces questions que lui-même a posées à la classe à travers la fiche de TP. De revenir aux questions texte c'est important pour que les élèves aient des réponses mais ne leur apporte pas de nouvelles réflexions.

La contextualisation et la généralisation qui sont fondamentales et forment l'une des bases en science, occupent une petite partie dans le discours et particulièrement dans l'évaluation de l'enseignant. La contextualisation est indispensable au débriefing et elle en devient une propriété nécessaire comme elle permet le lien avec l'activité expérimentale. Les généralisations qui interviennent dans les évaluations pourraient être l'occasion d'une rupture de l'échange ternaire et faire place à une dictée (commentée) de certaines facettes de connaissances. Ce qui n'est pas pratiquement passé. Au contraire, il y a moins de prise de

note c'est qui a été observée d'après nos bandes vidéos. L'information est donc plus facilement perdue.

La structure d'une discussion de classe en échange ternaire (IRE) contraint les élèves qui souhaitent intervenir sous forme de questions à le faire soit quand le professeur s'adresse à la classe (entre I et R), soit entre E et I s'ils veulent poser une question. Cela est pratiquement arrivé d'après nos résultats (524 réponses contre 19 questions). Mehan (1982, p.75) a remarqué que les élèves devenaient très tôt habiles pour s'introduire dans la conversation et s'immiscer dans une structure linguistique organisée par un enseignant. Il est notable de constater que ce format de débriefing n'encourage pas les élèves à poser des questions. Dans d'autres types de débriefings, analysés dans des chapitres ultérieures, avec les mêmes professeurs et les mêmes élèves, il nous a été pourtant donné d'observer les élèves en train de poser des questions. Tout s'est donc passé, dans nos études de cas, comme si les enseignants figeaient le format de la discussion.

Dans les observations que nous avons faites, les interventions des élèves étaient sous forme de réponses ou sous forme de questions. Les questions étaient rares (19 questions) par rapport aux réponses (524 réponses). Les réponses les plus fréquentes étaient sous forme de description (36 %) et d'interprétations (39 %) des observations vues pendant l'activité expérimentale. Ceci peut s'interpréter par le fait que les élèves n'ont peut-être pas questions à poser. Ils ont eu tout leur saoul d'interrogations pendant le temps de l'activité, et le corrigé ne les incite pas à renouveler la confrontation de leurs idées sous forme de questions. Les élèves dans ce type de débriefing sont là pour répondre aux interrogations de l'enseignant mais sous différentes formes.

Il n'est donc pas surprenant que les professeurs aient parfois le sentiment que la classe ne soit pas particulièrement motivée par cette pratique caractérisée par l'absence de nouveauté sur un sujet déjà travaillé en classe.

L'enseignant et le manuel scolaire

Nous avons constaté la grande hétérogénéité du fonctionnement des connaissances en classe, d'une activité à l'autre, d'un enseignant à l'autre pour un sujet, et pour un même enseignant d'une séance à l'autre. Pour que l'élève s'y retrouve, c'est-à-dire pour qu'il ne manque pas d'informations indispensables, il semble nécessaire qu'il puisse se référer à un texte du savoir adapté et complet. Le 'bon vieux' cours avait ce rôle mais est déconseillé par les instructions officielles. Une alternative peut être d'expliquer à l'élève comment utiliser le manuel scolaire qui en contient un. Nous avons vu que ce dernier était formulé dans un langage plus complexe et moins contextualisé que ce que l'enseignant prodiguait dans son discours. La relation, entre l'activité faite en classe et le manuel, n'est donc peut-être pas immédiate et la relation entre l'élève et le manuel aurait intérêt à être prise en charge par l'enseignant, en classe. Dans les pratiques courantes, le manuel est souvent un outil de

travail personnel de l'élève. Il n'est partagé avec l'enseignant que pour la seule utilisation des exercices. Il y a là une marge d'évolution pour les pratiques enseignantes, que de considérer que l'utilisation du manuel, lequel a été prescrit par l'enseignant, soit guidée par celui-ci.

L'adaptabilité des enseignants

Nous avons constaté que le corrigé d'une même activité ne mettait pas en jeu les mêmes facettes, ni parfois le même nombre de facettes suivant l'enseignant.

Une variété de facettes a été utilisée par les enseignants pour un même thème. Ces facettes utilisées apparaissent beaucoup moins complexes que celles relevées dans le manuel. Cette utilisation naturelle de facette peu complexe est également bénéfique pour une adaptation du discours. Nous pouvons « caser » plus facilement plusieurs facettes qu'une grosse.

Pour autant, nous constatons qu'une petite (voir très petite) proportion des facettes susceptibles de se trouver dans un cours apparaissent dans les corrigés. Ainsi au regard des facettes de connaissances, les débriefings-corrigés sont souvent plus pauvres que les cours.

Par contre pour un thème donné par exemple le modèle de Lewis nous avons trouvé une abondance de facettes. Cette abondance de facettes utilisées par les enseignants peut se comprendre parce qu'ils disposent du texte d'un modèle, et que l'activité a explicitement questionné ce modèle.

Autres propositions d'améliorations du débriefing-corrigé

Organiser un débriefing autour du corrigé d'une activité est donc une idée assez immédiate pour un professeur. Le 'script' du débriefing est tout tracé et va depuis le suivi *stricto sensu* du texte de l'activité jusqu'à des dérivés peu éloignés du 'script' de l'activité et de ses questions. Mais alors, que faire à la suite d'une activité qui a été sensée introduire le savoir ? En effet, le professeur est pris par contrat dans une logique qui lui impose d'utiliser le travail de l'élève, bien que le mode corrigé n'apparaisse pas approprié pour un travail motivant. Le temps du débriefing et même l'enseignant jouent un rôle important dans la différence. De plus, nous avons constaté qu'il n'y a pas une règle pour la mise en jeu des connaissances comme les enseignants n'utilisent pas les mêmes facettes, ni le même nombre, qu'il y a de nombreuses connaissances qui sont absentes (peu de facettes) des corrigés, en plus des ennuis des élèves. Afin d'améliorer cette situation, nous avons échafaudé, lors de discussions avec des enseignants sur leurs pratiques, quelques situations potentiellement intéressantes qui pourraient se substituer aux corrigés d'activités et où les élèves peuvent garder une trace écrite. « *La parole évoluant vers l'écrit et la parole constituée autour d'un écrit* » (Parpette, 2002). Deux propositions peuvent être efficaces soit que l'enseignant fait une structure, fait écrire les élèves ou les guider à la prise de notes soit se référer sur un texte de savoir. Une autre

proposition peut aussi trouver son efficacité parmi ces propositions est la préactivation qui précède l'activité expérimentale.

La préactivation est l'action du professeur qui prescrit des exercices entre l'activité expérimentale et le débriefing. Il s'agit d'exercices mettant en jeu des connaissances de l'activité qui seront repris dans le débriefing. La préactivation précédant l'un des débriefings a réduit sa durée. Ce débriefing a été plus dense qu'un autre, et donc peut être plus motivant. Nous n'avons pas assez de données pour valider cette hypothèse. La préactivation peut être une piste d'amélioration des débriefings-corrigés bien qu'elle ne soit pas dans le débriefing proprement dit.

Chapitre 6 Le débriefing impliquant une fiche de synthèse

Introduction

L'enseignant est pris par contrat dans une logique qui lui impose d'utiliser le travail de l'élève donc pour lui, organiser un débriefing autour du corrigé d'une activité est une idée assez immédiate. Mais nous venons de montrer dans le chapitre 5, que le mode corrigé n'apparaît pas approprié pour un travail motivant. De plus, nous avons constaté que de nombreuses connaissances sont absentes des corrigés. Comment éviter cette séance de correction ?

Dans cette partie de notre étude, nous nous sommes intéressés à la présentation et la description du débriefing impliquant une fiche de synthèse où registres sémiotiques et facettes constituent deux éléments importants. « *L'interaction orale est enfin, de manière variable suivant les disciplines, structurée par l'introduction de documents écrits ou plutôt pluri-sémiotiques* » (Bouchard, 2005).

Cette fiche de synthèse est un document que l'enseignant partage avec ses élèves. Nous supposons que l'enseignant peut discuter avec la classe de son contenu en relation avec ce que les élèves ont fait pendant l'activité. Nous allons voir par la suite dans l'analyse les connaissances mises en jeu par les enseignants ainsi que son activité lors des différents débriefings impliquant des fiches de synthèse.

Deux éléments sont essentiels dans l'analyse du débriefing fiche de synthèse : d'une part les facettes de connaissances et d'autres part la façon dont ces dernières sont présentées sous forme de registres sémiotiques dans la fiche de TP, la séance de débriefing et enfin la fiche de synthèse. Nous relaterons donc dans ce chapitre l'étude de ce deuxième type de débriefing en présentant trois exemples de fiches de synthèse avec deux enseignants et trois séquences d'enseignement.

La définition du débriefing fiche de synthèse

Nous appelons débriefing fiche de synthèse la séance où l'enseignant arrive avec un document qui peut être de différentes natures et que nous allons analyser par la suite. L'enseignant partage avec l'ensemble de la classe ce document qu'il l'a réfléchi comme un condensé de l'information d'un enseignement.

Contexte de la recherche

Nous nous intéressons aux séances de débriefings où il y a partage d'une fiche de synthèse entre les enseignants et leurs élèves suite à l'activité expérimentale. En revanche, nous avons suivi une quarantaine de débriefings de chimie en Seconde, sur trois années, avec cinq enseignants différents, et trois fois seulement, nous avons vu un enseignement proposer une fiche de synthèse. Nous rappelons que les enseignants commençait chaque séquence par une activité de classe, souvent expérimentale, souvent longue (1h voire 1h30) et durant cette activité, les élèves étaient autonomes, par binôme, l'enseignant intervenant peu. A la suite de cette activité, l'enseignant a proposé un débriefing-corrigé en revenant sur les questions posées. C'est à la fin de ce moment que nous avons pu voir apparaître des fiches de synthèse. Etant donné que le débriefing corrigé a été étudié dans le chapitre 5, nous limitons notre analyse à la phase de la distribution et exploitation de la fiche de synthèse.

Nous supposons que deux cas peuvent exister. L'enseignant vient, dans sa classe, avec une fiche de synthèse construite, l'élève ne va pas l'écrire (c'est son cours et il peut le coller dans son cahier). Elle peut être également une fiche à trous et dans ce cas l'enseignant et les élèves vont construire ensemble la synthèse.

Quelques travaux de recherche sur les représentations sémiotiques

De nombreux cadres théoriques ont été proposés afin de comprendre ce que les signes évoquent ou représentent. Pierce a étudié *la logique et l'interprétation adaptative des phénomènes observés dans l'environnement* (Duval, 2006). Il a ainsi proposé une classification des signes, suivant qu'il y avait ressemblance (dessin d'une voiture) ou non (le mot *voiture*) entre le signe et l'objet représenté, ou qu'il y avait une relation de causalité comme la fumée, signe qu'il y a un feu. Saussure, lui, a exploré une approche linguistique de la sémiotique, étudiant la langue naturelle, système sémiotique bien particulier. Jakobson a étudié les phénomènes de codage et de transmission de l'information. Plus largement, de Platon à Piaget, en passant par Saint Augustin, nombreux sont ceux qui ont réfléchi sur les signes. Plus récemment, Duval (1995 ; 2006) a montré l'importance de la relation entre signe et connaissance, en particulier dans le cas des mathématiques. Reprenant l'ensemble des cadres théoriques de la sémiotique, il a constaté – et il avoue que cela peut paraître provocant (ibid. p.70) – qu'aucun ne pouvait rendre compte d'une approche cognitive des signes mathématiques. Réutilisant une telle approche, mais dans le cas de la chimie, Khanfour-Armalé et le Maréchal (soumis) font une analyse cognitive des nombreuses représentations utilisées dans la pratique et l'enseignement de cette discipline, en particulier les représentations liées aux substances.

La chimie est souvent décrite comme une articulation de trois types de connaissances, macroscopiques, microscopiques et symboliques (Jonhstone, 1993). La plupart des enseignants semblent surutiliser le niveau symbolique dans leur cours au détriment des autres types de connaissances, et une grande majorité d'élèves est capable de résoudre les problèmes mettant en jeu ce niveau sans pour autant atteindre une compréhension conceptuelle suffisante (Gabel, 1993). Par exemple, la manipulation des équations chimiques peut être facilement traitée avec l'outil mathématique sans que les opérations effectuées prennent un sens chimique (Krajcik, 1991). Les nombreux travaux qui étudient l'utilisation de représentations en chimie ne se recommandent pas d'un cadre d'analyse bien élaboré. Pourtant, l'utilisation des représentations semble importante pour favoriser la visualisation des phénomènes microscopiques et ainsi aider les élèves à résoudre les problèmes (Turner, 1990). Kozma et Russell (1997) ont cherché à comprendre l'encodage visuel des représentations en chimie à partir de tâches de tri et de transformations de représentations classées en graphes, animations et vidéos.

Les recherches cognitivistes ont donné naissance à de nombreuses études sur le rôle des représentations figuratives dans les processus d'apprentissage, tant en situation de laboratoire, en utilisant les TICE (El Bilani, 2007), les films (2005) qu'en milieu scolaire (Peraya, 2005). Beaufils (2000) propose la séparation et la mise au même niveau d'un monde des signes et de la réalité, et il place un "monde des idées" qui constitue la base des activités cognitives de l'apprenant, l'espace de "l'alchimie de la cognition".

Les exemples de systèmes sémiotiques habituellement cités sont les langues naturelles et symboliques, les graphes, les figures géométriques, etc. L'importance de l'influence des graphes pour la représentation de mesure sur l'apprentissage a été montrée, par exemple dans la traduction des résultats des titrages acides-bases (Le Maréchal & Naïja, 2008). Les tableaux sont également très utilisés dans l'enseignement surtout depuis que la présentation sous forme de tableau d'avancement a été introduite dans l'enseignement en France (Le Maréchal et al. 2004). Les systèmes sémiotiques constituent les degrés de liberté dont un sujet peut disposer pour s'objectiver à lui-même une idée encore confuse et pouvoir la communiquer. Cette facilité permet d'enseigner un concept aussi délicat que l'énergie en chimie par des représentations élaborées spécialement pour l'occasion (Le Maréchal & El Bilani, 2008). Étant donné la place qu'il occupe dans les textes scientifiques, dans la littérature de vulgarisation et en didactique des sciences (biologie, physique et chimie), les représentations sémiotiques occupent une partie de ce chapitre de la thèse.

Connaissances et représentations

La connaissance est considérée comme un rapport individuel aux objets de savoir. Pour être repérées et mises en évidence, les connaissances doivent soit être extériorisée par le langage,

et à ce titre, nous les étudierons ici dans les interactions entre individus. Elles peuvent également être repérées dans les signes produits par les individus. Ces signes, dont l'étude est la sémiotique, constitueront pour nous des observables qui permettent de remonter à la connaissance de ceux qui les ont produits.

« [...] les représentations sémiotiques [sont] des productions constituées par l'emploi de signes appartenant à un système de représentation qui a ses contraintes propres de signification et de fonctionnement. Les représentations sémiotiques ne sont pas seulement des moyens d'extériorisation des représentations mentales pour des fins de communication, mais elles sont également essentielles pour l'activité cognitive de la pensée. Sémiotique : appréhension ou production d'une représentation sémiotique et noésis : appréhension conceptuelle d'un objet [...] il n'y a pas de noésis sans sémiotique, alors qu'on veut enseigner les mathématiques comme si la sémiotique était une opération négligeable par rapport à la noésis (Duval, 1993) »

Bien que l'on affirme que la manipulation des objets et des instruments est essentielle à l'enseignement des sciences, des travaux de didactique montrent que les activités pratiques sont parfois très planifiées et engagent les élèves dans un simple suivi de consignes permettant d'aboutir aux résultats attendus [Richoux, 2000]. Si la fiche d'activité ne prévoit pas une question spécifique, le lien avec la théorie ou les modèles n'est pas effectué par l'étudiant qui reste dans "le faire" [Robinault, 1997]. En l'absence d'informations suffisantes, les procédures mises en œuvre pour effectuer la tâche sont parfois fort éloignées de celles escomptées par l'enseignant [Beney, 1998]. D'ici vient le rôle des représentations qui peuvent aider l'élève à comprendre mieux la situation ou voir la connaissance autrement.

Les connaissances ne peuvent en général être isolées, et elles s'intègrent dans de complexes réseaux cognitifs. Cette complexité peut être décrite en termes de facettes (Minstrell, 1992). Nous rappelons que cet auteur définit une facette de connaissance comme la plus petite unité qui fasse sens à propos de ladite connaissance. Par exemple, « la molécule d'ammoniac contient quatre atomes » est une facette de la connaissance relative à la molécule d'ammoniac. Le nombre de facettes d'une connaissance donnée est, on l'imagine, grand, ce qui traduit l'abondance des informations qu'un élève doit acquérir pour avoir fait le tour de ce qu'il doit apprendre.

Notre analyse des activités des enseignants s'est basée sur le cadre théorique que nous avons développé dans le chapitre 1, et qui concerne l'analyse conversationnelle (les échanges ternaires) et l'analyse didactique (les facettes de connaissances) des productions verbales de l'enseignant au cours de la séance de débriefing.

Nous ajoutons à cette analyse une sur les représentations sémiotiques figurant lors du débriefing. Nous nous appuyons sur le cadre théorique présenté ci-dessous.

Cadre théorique

Désireux de disposer d'un cadre théorique prenant en compte une approche cognitive de la sémiotique, nous allons, comme Duval (1995 ; 2006) considérer trois axes d'analyses : les

relations entre signes et représentés ; les fonctions des représentations ; les systèmes sémiotiques. Ces axes doivent nous permettre de comprendre l'utilisation des représentations des corps dans l'enseignement de la chimie lors des séances de débriefings impliquant des fiches de synthèse.

Relations entre signes et représentés

Duval a montré que cinq, et seulement cinq, relations entre le signe et ce qu'il représente sont présentes au sein des divers cadres théoriques de l'étude des signes proposés par Platon, Pierce, Saussure, etc. Ces relations sont rappelées ici avec des exemples choisis, par l'auteur (Duval, 2006). (1) La première de ces relations entre le signe et ce qu'il représente est la ressemblance. Elle est présente chez Platon et Pierce, mais c'est une notion pour le moins délicate à préciser. Comment chiffrer qu'un signe est plus ou moins ressemblant au représenté correspondant (voir la figure 1) ? (2) La deuxième relation est la référence, encore appelé dénotation ou désignation. Cette relation apparaît clairement dans la désignation des lettres en algèbre (soit $x...$) ou dans le cas d'une définition mettant en jeu une désignation linguistique (on appelle orthocentre...). (3) La causalité est également une relation qui lie le signe et son représenté. L'exemple se trouvant dans tous les livres de sémiotique est la fumée, signe de l'existence d'un feu (le signe est l'effet). Le signe peut également être une cause, par exemple pour la circulation routière : le signe *sens interdit* est la cause du non-passage des véhicules. (4) La quatrième relation résulte de l'opposition, ou de la combinaison des signes. Il faut qu'au moins deux signes soient utilisés pour cela. L'organisation des signes les uns par rapport aux autres peut être essentielle pour la création du sens. C'est le cas de l'organisation des mots dans une phrase, tel que l'a montrée Saussure (1917). C'est aussi le cas des chiffres au sein d'un nombre (Duval, 1995). (5) Dans la dernière relation, ce qui compte est la nature du représenté (*aliud aliquid*). Un signe peut représenter non seulement un objet matériel, un objet idéal, mais aussi un autre signe, comme une lettre en algèbre, qui remplace une expression complexe d'autres signes. C'est ainsi que le thermodynamicien Clausius a nommé U et S certains intermédiaires de calcul, pour raison de facilité algébrique, bien avant que les termes *énergie interne* et *entropie* ne furent forgés, ce qui explique l'absence de relation dans ces choix de lettres et les concepts correspondants (Howard, 2001).



Figure 1 – A gauche: *Les deux mystères*. René Magritte, 1966 (huile, 65X80 cm). Sur le tableau il est écrit *Ceci n'est pas une pipe*. A droite, *Pochade* de Magritte, 1926 (l'original est sur fond noir).

Fonction des représentations

Les trois fonctions cognitives des représentations sont de laisser une trace pour communiquer, de permettre la transformation de l'information, et de pouvoir, par conversion, faire apparaître différents aspects de ce qui est représenté. Si la communication est une fonction évidente des représentations, traitement et conversion requièrent quelques précisions. L'intérêt du traitement d'une représentation est de permettre d'obtenir de nouvelles informations, comme par exemple, trouver que $x = 2$ à partir de $4x = 8$. En revanche, la conversion transforme une représentation et lui en donne un nouvel éclairage sur ce qui est représenté. Par exemple convertir $x = 2$ en une droite parallèle à l'axe des ordonnées dans un plan cartésien correspond à une telle activité cognitive. D'après Duval (1995), l'enseignement [en mathématique] fait la part belle aux deux premières activités, laissant celle de conversion à la charge des élèves. Cette dernière activité est pourtant essentielle et sa non maîtrise explique bien des échecs d'élèves.

Systèmes sémiotiques

Un système sémiotique est un ensemble de signes, muni de règles, qui doit permettre d'accomplir les trois activités cognitives décrites précédemment : communication, traitement et conversion. Le traitement s'effectue au sein d'un système alors que la conversion consiste à passer d'un système à un autre. Les exemples de systèmes sémiotiques habituellement cités sont les langues naturelles et symboliques, les graphes, les figures géométriques, etc. L'importance de l'influence des graphes pour la représentation de mesure sur l'apprentissage a été montrée, par exemple dans la traduction des résultats des titrages acides-bases (Le Maréchal & Naïja, 2008). Les tableaux sont également très utilisés dans l'enseignement surtout depuis que la présentation sous forme de tableau d'avancement a été introduite dans l'enseignement en France (Le Maréchal et al. 2004). Les systèmes sémiotiques constituent

les degrés de liberté dont un sujet peu disposer pour s'objectiver à lui-même une idée encore confuse et pouvoir la communiquer. Cette facilité permet d'enseigner un concept aussi délicat que l'énergie en chimie par des représentations élaborées spécialement pour l'occasion (Le Maréchal & El Bilani, 2008). Un système peut-être analogique, comme l'image d'une pipe qui ressemble à une pipe, ou non comme le mot *pipe* (fig.2). Décrire les systèmes sémiotiques utilisés pour représenter des corps chimiques est un des objets de cet article. Ce problème ne semble par avoir été traité avec une approche cognitive et son originalité, par rapport à la langue naturelle ou aux mathématiques, tient en partie à la spécificité de ce qui est représenté : les substances.

Chaque système sémiotique met en jeu un ensemble de connaissances qui lui est propre. Par exemple, la représentation des nombres dans le système décimal requière, pour additionner 0,25 et 0,25, des connaissances différentes de celles nécessaires pour faire la même opération dans un autre système sémiotique comme le système fractionnaire $\frac{1}{4} + \frac{1}{4}$. Savoir faire fonctionner un système sémiotique dépend d'un apprentissage spécifique. Savoir passer d'un système à un autre dépend d'un autre type d'apprentissage. Une telle opération requière que soit perçue la différence entre le sens d'un symbole et sa référence, faute de quoi la conversion n'a pas de sens (Duval, 1995 p.41).

L'utilisation de plusieurs systèmes, pour un même représenté, n'est pas une redondance d'information, mais un enrichissement des connaissances liées au représenté. Et du point de vue de l'apprentissage, la coordination de plusieurs systèmes utilisés pour un même objet de savoir permet de mieux appréhender un représenté donné. Cela concerne bien évidemment l'enseignant de chimie qui ne peut, d'une molécule par exemple, ne montrer que des représentations, le représenté n'étant pas perceptible. D'après Duval (1995, p.75), cette compréhension d'un représenté, qui intègre plusieurs systèmes sémiotiques, favorise l'activité de transfert qui manque tant aux apprenants.

Questions de recherche

Dans l'optique de caractériser un aspect de la professionnalité enseignante, il s'agit de caractériser ce qui se passe pendant les débriefings impliquant une fiche de synthèse, des points de vue linguistique, cognitif et sémiotique.

Les connaissances manipulées par les élèves dans l'activité expérimentale :

- ✗ sont en phase de découverte,
- ✗ ne sont pas forcément bien organisées et
- ✗ sont manipulées de plus ou moins bonne façon.

Dans la séance de débriefing, l'enseignant cherche à organiser les connaissances qui ont été mises en jeu lors de l'activité expérimentale, ainsi que les différents registres. Nous nous

intéressons dans ce chapitre de la thèse à la façon dont les fiches de synthèses sont créées et utilisées par les enseignants à travers les facettes et les registres sémiotiques.

Dans le processus de création, nous cherchons à caractériser, à l'aide de la notion de facette, les connaissances qui sont reprises, pour le débriefing, de la phase d'activité ou celles-ci ont été mises en scène pour qu'elles émergent dans les petits groupes d'élèves. Le registre sémiotique dans lequel ces connaissances ont été mises en jeu pendant l'activité, et celui dans lequel elles apparaissent dans la fiche de synthèse seront comparés. Le rôle de ces connaissances, dans les registres utilisées, sera comparé dans ces deux moments de l'enseignement.

En ce qui concerne le processus d'utilisation des fiches de synthèse, nous chercherons à décrire en termes de facettes de connaissances l'activité des enseignants qui ont produit leur fiche de synthèse.

Ce processus d'utilisation sera décrit aussi en termes de représentations sémiotiques. Il s'agira de voir comment le cadre théorique proposé ci-dessus, et dont l'origine a pour l'essentiel été développée dans le cadre des mathématiques, concerne les représentations spécifiques de la chimie, principalement les représentations des molécules. Nous cherchons à comprendre le rôle des signes dans le cas de l'articulation entre le débriefing d'une activité d'enseignement et la fiche de synthèse correspondante. Nous y recherchons comment les représentations sont articulées entre le discours extemporané, et cette trace écrite que l'enseignant laisse à ces élèves.

Nous cherchons à décrire aussi la discussion de l'enseignant avec ses élèves lors de l'utilisation de la fiche de synthèse en termes d'échanges ternaires.

Nous traduisons notre problématique par la question de recherche suivante : comment la fiche de synthèse a été produite ? Comment elle est utilisée par l'enseignant à travers les facettes et les représentations ? Sous quelle forme se présente la discussion lors de la lecture de cette fiche (échange ternaire) ?

Méthode

Méthodologie de prise et d'analyse des données

Deux enseignants (pseudos M et C) volontaires ont été suivis pendant le travail de leur classe en activité et pendant le débriefing correspondant. Seules les données prises lors de débriefings mettant en jeu des fiches de synthèse sont exploitées ici. Il s'agit de bandes vidéo pointées sur l'enseignant. Nous rappelons que nous avons suivi la méthode de collecte et d'analyse de données décrite dans le chapitre 1.

Interrogés sur leur pratique, ces collègues nous ont confirmé la rareté de cette pratique. Etant donnée le nombre faible de débriefings utilisant une fiche de synthèse, nous avons demandé

à ces enseignants s'il avait utilisés des fiches de synthèses lors de débriefings que nous n'avions pas filmé. Ce fut le cas, et nous avons pu disposer de cinq fiches de synthèse supplémentaires et des textes d'activités correspondants. Les mêmes analyses relatives à leur création ont été réalisées. Bien sûr, nous n'avons pas de données sur leur utilisation. L'ensemble des fiches de synthèse utilisées sont réunies dans le tableau 1.

Parmi toutes nos données seuls M et C ont été filmés durant leur débriefing impliquant l'utilisation d'une fiche de synthèse. C a traité du modèle de Lewis et M de la transformation chimique, tout deux en classe de Seconde. Le débriefing de M traitant de l'initiation à la mole et de la quantité de matière a été filmé. Ce débriefing s'est terminé par la distribution d'une fiche de synthèse qui n'a pas été travaillé avec les élèves en classe. Cinq autres fiches de synthèse ont été récupérées de trois enseignants H, I et M sans les filmer en train de les travailler avec leurs élèves (voir tableau 1). Ce sont donc les fiches de trois séquences d'enseignement la solution, la chromatographie et le modèle de Lewis.

Le discours entre l'enseignant et la classe a été transcrit et l'analyse a consisté à relever les facettes de connaissances dans les productions verbales de l'enseignant durant l'exploitation de la fiche de synthèse (annexe 6 documents 6 d, d', d'', e, e, 'e'') afin de les comparer aux facettes se trouvant dans la fiche de TP et la fiche de synthèse. Cette comparaison va permettre de comprendre l'utilisation de la fiche de synthèse par l'enseignant en termes de facettes de connaissances. Nous nous limitons dans cette analyse à la séance de ML et TC comme dans la séance de QM la fiche de synthèse n'a pas été travaillée avec les élèves. Nous rappelons que les concepts sont ceux relevés du curriculum de la partie correspondante.

Une comparaison entre les facettes se trouvant dans la fiche de synthèse et la fiche de l'activité (le modèle) sera faite (annexe 6 documents d'', e'' et f''). Cette comparaison va permettre d'identifier les connaissances qui sont reprises, pour la fiche de synthèse, de la phase d'activité (modèle). L'étude du texte de l'activité et de la fiche de synthèse a permis de relever : les connaissances communes aux deux documents, celles qui sont nouvelles et celles qui n'ont pas été reprises.

Nous avons traité les différentes représentations lors de leur utilisation en fonction de notre cadre théorique afin de comprendre le rôle des signes dans le cas de l'articulation entre le débriefing d'une activité d'enseignement et la fiche de synthèse correspondante. Nous y recherchons comment les représentations sont articulées entre le discours extemporané, et cette trace écrite que l'enseignant laisse à ces élèves.

De même nous avons relevé les registres sémiotiques communs aux deux documents : la fiche de synthèse et l'activité (fiche de TP et modèle), ceux qui sont nouveaux et ceux qui sont ignorés etc. Nous faisons la comparaison des textes de l'activité avec toutes les fiches de synthèses correspondants récupérées. Cette comparaison va nous permettre d'identifier les représentations qui sont reprises, pour le débriefing, de la phase d'activité.

Nous avons catégorisé les interventions initiatives et évaluatives de l'enseignant ainsi que les interventions réactives des élèves lors de la lecture de la fiche de synthèse. Cette catégorisation va permettre de décrire la discussion de l'enseignant avec ses élèves lors de l'utilisation de la fiche de synthèse en termes d'échanges ternaires.

Thème enseigné	Enseignant	Sans données vidéo	Avec données vidéo
Transformation chimique	M		X
Initiation à la mole et quantité de matière	M		X
Modèle de Lewis	C I	X	X
Solution et concentration	M H	X X	
Chromatographie	M H	X X	

Tableau 1 La Liste des données disponibles pour les débriefings impliquant une fiche de synthèse

Les séquences d'enseignement

Nous avons étudié les fiches de synthèse de cinq séquences d'enseignement (voir tableau 1) : une sur l'enseignement de la quantité de matière (*QM*), une sur l'enseignement du modèle de Lewis de la liaison chimique (*ML*), une sur la concentration des solutions (*CS*), une sur la chromatographie colonne et couche mince (*CC*) et enfin une sur la transformation chimique (*TC*). Toutes sont en référence au programme de la classe de Seconde de 2000 (voir le tableau 1). Nous rappelons que ces séquences d'enseignement ont été décrites dans le chapitre 2 de la thèse. Nous nous limitons dans ce qui suit à résumer les séquences d'enseignement qui ont été filmées.

La séquence *QM* (annexe 1 document 1 f) contient deux activités d'une heure et demi chacune, et sert d'initiation à la mole et la détermination de la quantité de matière. Chaque activité est suivie, d'un corrigé (annexe 5 document 5 q) et à la fin de la deuxième activité (annexe 5 document 5r) d'une distribution de la fiche de synthèse (Annexe 2 document 2 e) qui est à compléter et lire par les élèves chez eux. La fiche de synthèse n'a pas été travaillée ni lue avec les élèves en classe. L'activité a été accompagnée d'un modèle intégré sous forme de 4 tableaux dans la fiche de TP juste avant les exemples correspondants.

La séquence *ML* (annexe 1 document 1 c) consiste en deux TP (deux activités du livre chacun) d'une heure et demi chacun, décalés par un débriefing corrigé (annexe 5 document 5 l) et à la fin de la deuxième activité d'une distribution de la fiche de synthèse (annexe 2 document 2 c). Cette fiche de synthèse a été lue par les élèves en classe après la demande de l'enseignant suivie d'une précision de sa part. La fiche de synthèse est toute faite, l'élève ajoute simplement les précisions demandées de la part de l'enseignant. Les activités ont été

accompagnées d'un modèle intégré sous forme de texte dans les documents, des quatre activités formant les deux TP, juste avant les exemples ou les exercices correspondants.

La séquence *TC* (annexe 1 document 1 h) consiste en une activité expérimentale d'une heure et demi qui a comme objectif de fournir une modélisation macroscopique et qualitative de la réaction chimique, suivie d'un débriefing corrigé (annexe 5 document 5s) et à la fin du corrigé, une distribution de la fiche de synthèse (annexe 2 document 2 h) qui a été lue par les élèves et retravaillée avec l'enseignant. L'enseignant et les élèves vont construire ensemble la fiche de synthèse. Cette activité a été accompagnée d'un modèle séparée de la fiche de TP.

Les séquences d'enseignement des cinq fiches de synthèse supplémentaires et de leurs textes d'activités correspondants sont rassemblées respectivement dans les annexes 1 et 2. Ces séquences, décrites dans le chapitre 2, consistent en des activités traitant respectivement de la concentration de la solution (annexe 2 document 2 f et 2 g), la chromatographie (annexe 2 document 2 a et 2 b) et le modèle de Lewis (annexe 2 document 2 d).

Le lien entre les différentes parties de la séquence

Nous présentons, dans la figure 2, les différentes étapes possibles de la séquence d'enseignement dans le cas où une fiche de synthèse est partagée entre l'enseignant et les élèves. Un débriefing suit l'activité expérimentale qui est accompagnée d'un modèle. La séance de débriefing est divisée en deux parties comme le montre la figure 1 : la correction et puis la distribution de la fiche de synthèse et le travail sur cette fiche si l'enseignant en fait.

Le moment du débriefing est caractérisé par le fait que l'enseignant reprend la responsabilité de la manipulation du savoir, en relation avec l'activité. Dans le débriefing-corrigé, nous l'avons déjà vu dans le chapitre 5, la relation avec l'activité respecte *simultanément* deux conditions : les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage dans l'activité, de même que le contexte dans lequel l'activité a été conçue pour la mise en œuvre de ces connaissances. Nous nous sommes intéressés dans ce chapitre par la relation entre l'activité et la fiche de synthèse d'une part, et celle entre l'activité et la phase de l'exploitation de la fiche de synthèse d'une autre part.

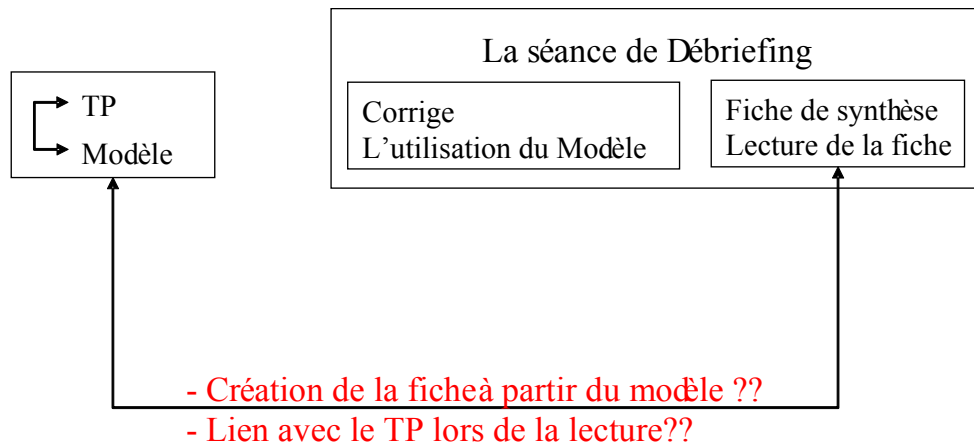


Figure 2 Les différentes étapes de la séquence d'enseignement contenant une fiche de synthèse.

La relation entre l'activité et la fiche de synthèse est étudiée à travers la création de cette fiche. Dans le processus de création, nous cherchons à caractériser, à l'aide de la notion de facette, les connaissances qui sont reprises, pour le débriefing, de la phase d'activité (du modèle). Le registre sémiotique dans lequel ces connaissances ont été mises en jeu pendant l'activité et celui dans lequel elles apparaissent dans la fiche de synthèse seront comparés. Le rôle de ces connaissances, dans les registres utilisées, sera comparé dans ces deux moments de l'enseignement.

La relation entre l'activité et la lecture de la fiche de synthèse est étudiée à travers les deux conditions : les connaissances mises en jeu et le contexte de l'activité.

En résumé nous nous sommes intéressés à deux activités principales de l'enseignant. D'une part s'il effectue un retour sur les différents textes fournis lors de l'activité. Et d'autre part s'il projette le contexte expérimental de l'activité dans le nouveau tissu de connaissances que l'élève va devoir apprendre.

Résultats

Les résultats concernent d'une part l'analyse des connaissances en termes de facettes de connaissance et de registres sémiotiques, et d'autre part l'analyse conversationnelle. Les différents liens entre les parties de la séquence d'enseignement sont aussi évoqués.

Analyse cognitive

Identification des facettes de connaissances dans la séquence TC

Nous avons comparé le nombre de facettes apparaissant dans les commentaires de l'enseignant durant l'exploitation de la fiche de synthèse aux facettes se trouvant dans cette fiche et le modèle. Nous faisons pour cela l'hypothèse que la fiche de synthèse regroupe l'essentiel du savoir à enseigner. Pour l'enseignant M, nous avons trouvé 11 facettes figurant dans le modèle, 24 facettes se trouvant dans la fiche de synthèse (dont 4 se trouvent dans le modèle) et 16 facettes mises en jeu dans ses productions lors des commentaires suite à la lecture de la fiche (dont 5 se trouvent dans la fiche).

Les facettes utilisées par l'enseignant apparaissent beaucoup moins complexes que celles du modèle et de la fiche de synthèse. Celles de la fiche de synthèse et du modèle mettent en jeu plus de concepts. Ci-dessous le tableau 2 et le graphe correspondant montre, de gauche à droite, le nombre de facettes classés par complexité croissante (nombre de concepts en relation) figurant dans la fiche de synthèse, le modèle et finalement dans les commentaires de l'enseignant lors de la lecture de la fiche de synthèse.

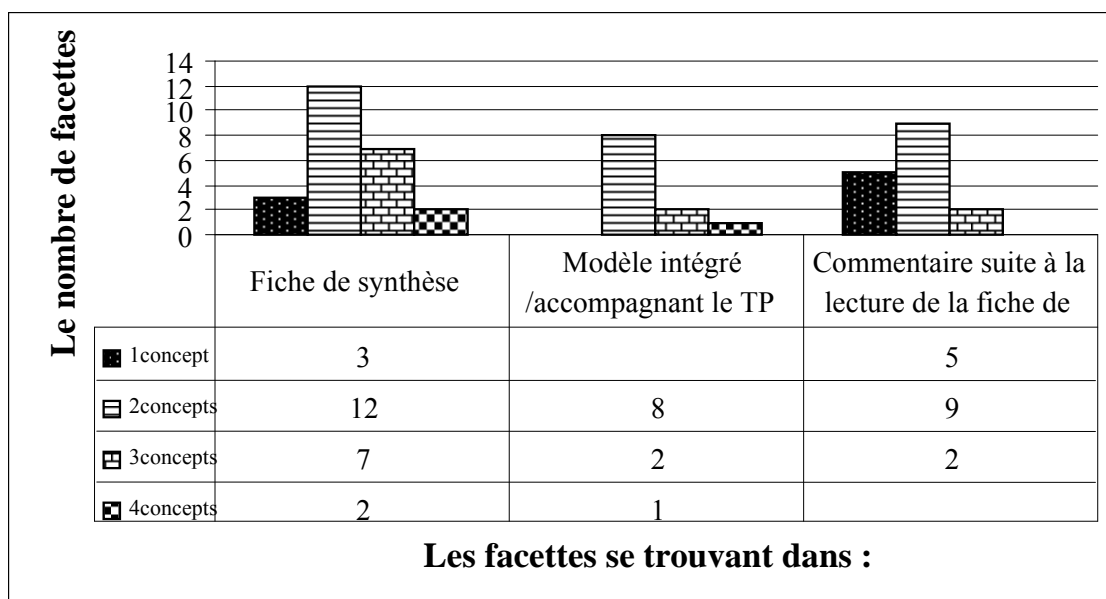


Tableau 2 Le nombre de concept en relation et le nombre de facettes se trouvant dans la séance TC.

L'enseignant durant l'exploitation de la fiche de synthèse met en jeu des facettes à 1 et 2 concepts sensibles en relation. Dans la fiche de synthèse, nous trouvons des facettes à 3 et même à 4 concepts sensibles en relation. Leur complexité est moindre dans le discours oral de l'enseignant que dans le texte écrit du modèle. La différence quantitative peut être en

rapport avec la différence entre une expression écrite et orale du même enseignant. Cette différence de complexité entre le discours oral et le texte du modèle n'est certes pas surprenante puisqu'un texte écrit est forcément plus travaillé et aboutit donc à un nombre supérieur de concepts en relation (à quelques rares exceptions près). La différence qualitative peut être en rapport avec l'activité expérimentale qui oriente le professeur vers l'utilisation de facettes à 1 concept sensible.

Les fréquences d'apparition de concepts sensibles mis en relation par l'enseignant diffèrent notablement des fréquences dans le texte du modèle ou de la fiche synthèse. Le concept le plus convoqué par l'enseignant, dans le texte du modèle et dans la fiche de synthèse est celui de transformation avec 15% dans les facettes de l'enseignant, 31% dans le texte du modèle, et 6% dans la fiche de synthèse mais c'est celui d'état initial chez l'enseignant avec 12%, dans le texte du modèle avec 8% et dans la fiche de synthèse avec 2%.. Pour les concepts moins utilisés, il en est de même, de nombreuses inversions apparaissent (Tableau.3). L'utilisation d'un modèle apparaît dans ce cas différent suivant les situations.

Concepts	Transformation	Réactif	Espèces chimiques	Produit	Etat initial	ébullition
Lecture Ens	15	15	15	12	12	12
Modèle	31	19	19	8	8	0
Fiche synthèse	6	20	14	12	2	6

Concepts	Elément chimique	Système chimique	Réaction chimique	Etat final	Equation chimique	Nombres stœchiométriques
Lecture Ens	12	4	4	0	0	0
Modèle	0	8	0	8	0	0
Fiche synthèse	6	8	8	6	10	2

Concepts	Avancement	Quantité de matière	Réactif limitant
Lecture Ens	0	0	0
Modèle	0	0	0
Fiche synthèse	0	0	0

Tableau 3 Pourcentage d'apparition des concepts sensibles dans les facettes de connaissances chez l'enseignant M (Ens) dans les commentaires lors de la lecture de la fiche (1^{ère} ligne), dans le texte du modèle (2^e ligne) et dans la fiche de synthèse (3^e ligne).

D'après le tableau 3, nous pouvons remarquer que les concepts quantité de matière, avancement et réactif limitant, concepts sensibles se trouvant dans le curriculum, n'apparaissent nulle part dans cette séquence. Par ailleurs, nous remarquons le concept

d'ébullition qui apparaît dans la fiche de synthèse avec une fréquence de 6% et également dans les commentaires de l'enseignant lors de la lecture de la fiche avec une fréquence de 12%. Cette apparition, dans la fiche de synthèse et non pas dans le texte du modèle, vient du moment de préparation de l'enseignant. En fait l'enseignant a remarqué lors de sa préparation de sa fiche et la lecture des comptes rendus que les élèves considèrent que l'ébullition est une transformation. Ce qui n'est pas vrai puisque l'ébullition est un changement d'état physique d'une même espèce chimique et non pas une apparition d'une nouvelle. En revanche dans une transformation, il y a apparition d'une nouvelle espèce chimique. Il réagit à cette confusion en ajoutant la remarque à ce propos dans la fiche de synthèse et il en parle lors de la lecture de la fiche. De même concernant le concept élément chimique, concept introduit dans la séquence précédente EC et évoqué lors de cette séquence. Il s'agit d'une observation intéressante sur l'évolution de la préparation et la continuité du savoir de l'enseignant pendant un enseignement par activités. En plus la séance n'est pas une simple séance après l'activité expérimentale mais un appui de ce qui se passe en activité.

Identification des facettes de connaissances dans l'activité ML

Comme pour l'activité de TC, nous avons comparé le nombre de facettes apparaissant dans les commentaires lors de la lecture de la fiche de synthèse aux facettes que l'on peut trouver dans la fiche de synthèse et le modèle. C a mis en jeu 10 facettes différentes dans ses productions lors des commentaires suite à la lecture de la fiche de synthèse (dont 1 répétée 2 fois et 2 facettes se trouvent dans la fiche de synthèse), alors que 22 facettes figurent dans le modèle et que 22 facettes se trouvent dans la fiche de synthèse (dont 3 se trouvent dans le modèle).

Comme dans la séance TC, les facettes utilisées par l'enseignant dans la séance de ML apparaissent beaucoup moins complexes que celles du modèle et de la fiche de synthèse. Celles de la fiche de synthèse et du modèle mettent en jeu plus de concepts (voir 4 concepts en relation dans le tableau 4). Le tableau 4 et le graphe correspondant montre, de gauche à droite, le nombre de facettes classés par le nombre de concepts en relation, figurant dans la fiche de synthèse, le modèle et finalement dans les commentaires de l'enseignant lors de la lecture de la fiche de synthèse.

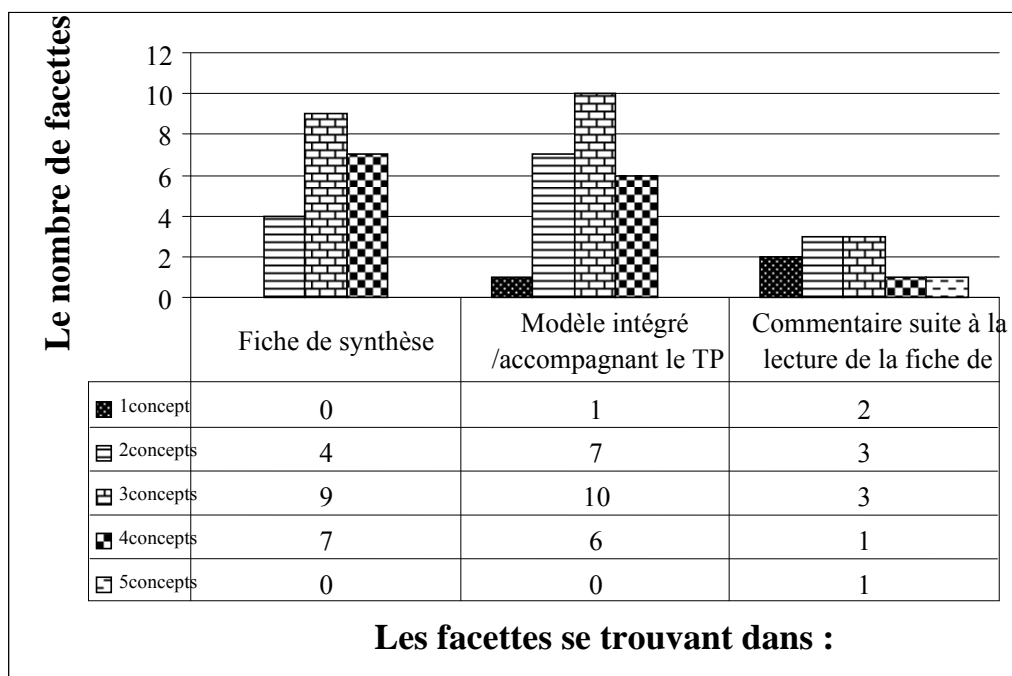


Tableau 4 Le nombre de concept en relation et le nombre de facettes se trouvant dans la séance ML.

L'enseignant dans ses commentaires lors de la lecture de la fiche de synthèse met en jeu des facettes à nombres différents de concepts sensibles en relation (tableau 4). Le plus grand nombre de facettes de l'enseignant mettent en jeu entre 1 et 3 concepts. Dans la fiche de synthèse, nous trouvons des facettes à 3 et même à 4 concepts sensibles en relation. Leur complexité est moindre dans le discours oral de l'enseignant que dans le texte écrit du modèle.

Les fréquences d'apparition de concepts sensibles mis en relation par l'enseignant diffèrent notablement des fréquences dans le texte de modèle ou de la fiche synthèse. Le concept le plus convoqué par l'enseignant, dans le texte de modèle et dans la fiche de synthèse est celui de gaz nobles avec 20% dans les facettes de l'enseignant, et 7% dans le texte du modèle, et 4% dans la fiche de synthèse. Tandis que le concept d'atome est le plus convoqué dans le modèle avec une fréquence de 23%, dans la fiche de synthèse avec une fréquence de 21% et dans les commentaires de l'enseignant avec une fréquence de 12%. Mais c'est celui de liaison covalente chez l'enseignant avec 4%, dans le texte du modèle avec 16% et dans la fiche de synthèse avec 11%. Pour les concepts moins utilisés, il en est de même, de nombreuses inversions apparaissent (Tableau.5). L'utilisation d'un modèle apparaît dans ce cas différent suivant les situations.

Concepts	Gaz nobles	Atome	Électron	Couche	Molécule	règle de duet	Ion	Liaison covalente	Z
Lecture Ens	20	12	12	12	8	8	8	4	0
Modèle	7	23	13	5	10	2	0	16	0
Fiche synthèse	4	21	10	3	10	6	1	11	0

Concepts	doublet non liant	stable	structure électronique	Formule développée	doublet liant	règle de l'octet
Lecture Ens	4	4	4	4	0	0
Modèle	5	3	3	2	7	2
Fiche synthèse	4	0	0	1	6	6

Concepts	Représentation de Lewis	Formule semi-développée	Élément	Doublet	formule brute	isomérisie
Lecture Ens	0	0	0	0	0	0
Modèle	2	2	0	0	0	0
Fiche synthèse	4	3	3	3	3	1

Tableau 5 Pourcentage d'apparition des concepts sensibles dans les facettes de connaissances chez l'enseignant C (Ens) dans les commentaires lors de la lecture de la fiches (1^{ère} ligne), dans le texte du modèle (2^e ligne) et dans la fiche de synthèse (3^e ligne).

D'après le tableau 5, nous pouvons remarquer que le concept de numéro atomique Z, concept sensible se trouvant dans le curriculum, n'apparaît pas dans cette séquence. Par ailleurs, nous remarquons les concepts élément, doublet, formule brute et isomère n'apparaissent que dans la fiche de synthèse avec une petite fréquence. Cette apparition, dans la fiche de synthèse et non dans le texte du modèle, vient du fait que ce sont des nouvelles connaissances introduites dans la fiche de synthèse. Il s'agit d'une observation intéressante sur l'articulation de la séance de débriefing avec la suite de la séquence. Donc la séance n'est pas une simple séance après l'activité expérimentale mais un lien entre les différentes parties de la séquence.

Analyse sémiotique

Sur la moitié des fiches de synthèses, le seul système sémiotique utilisé est le langage naturel (hormis des symboles de grandeurs, des nombres, et les formules brutes). L'autre moitié contient des illustrations d'expériences ou de molécules.

Relation entre représentation moléculaires et molécules

Nous allons décrire ici en quoi les cinq relations précédemment évoquées sont pertinentes pour analyser les signes utilisés dans les débriefings.

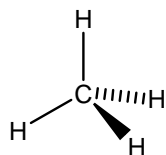
La relation de ressemblance

Lorsqu'il s'agit de représenter une molécule, la notion de ressemblance doit être précisée car le représenté n'a jamais été observé visuellement (condition à la base des sémiotiques de Pierce ou de Piaget). De plus, quel attribut d'une molécule doit-on utiliser comme critère de ressemblance : sa géométrie, sa densité électronique, son état énergétique, etc. ? Qu'est-ce qu'une molécule et qu'est ce que la science sait d'une molécule qui pourrait nourrir une ressemblance avec une représentation ? Ces questions sont d'autant plus délicates que, à la différence d'une pipe, une molécule est tout autant un modèle qu'un objet.

De ce modèle-objet, des études spectroscopiques ont mis en évidence certaines propriétés, comme le rapport géométrique des atomes constituant la molécule. Par exemple, les diagrammes de diffraction de rayons-X sur des monocristaux permettent d'en conclure que des zones de densité électronique forte (que le modèle attribue aux atomes) sont disposées d'une certaine façon. Le chimiste traduit cela par une géométrie moléculaire et il produit des signes capables d'en rendre compte. Ainsi, l'environnement de certains atomes de carbone est tétraédrique et plusieurs conventions permettent de le représenter par un signe. La représentation de Cram se trouvant dans la fiche de synthèse ML (voir la figure 3), utilise des conventions faisant appel à l'intuition. Cette représentation – nous ne parlons pas encore de système sémiotique (vide infra) – est en revanche trop lourde pour représenter l'organisation spatiale autour des différents atomes de carbone d'une molécule plus grosse (sucre, acide aminé, stéroïde, protéine), et d'autres types de représentations se révèlent alors plus performantes pour représenter leur géométrie (Représentation de Fischer ou en ruban).

6.2. Représentation de CRAM :

On représente la molécule de CH_4 ainsi :



Où : — représente une liaison dans le plan de la feuille
▴ représente une liaison venant vers l'avant de la feuille
----- représente une liaison allant vers l'arrière de la feuille

Figure 3 Représentation de Cram telle qu'elle apparaît dans la fiche de synthèse étudiée.

La géométrie n'est pas le seul attribut d'une molécule dont les chimistes se sont attachés à élaborer des représentations ressemblantes. Ainsi, le comportement des atomes autour d'une

simple liaison conduisant à différents états énergétiques de la molécule se représente bien par les conventions de Newman.

Lors de la séance ML, la structure géométrique des molécules n'a été évoquée que sur la fiche de synthèse, et à l'aide de plusieurs représentations (formule développée par exemple voir la figure 4). Mais pas un mot à l'oral lors du débriefing où le thème sur lequel l'enseignant a insisté fut la structure électronique des molécules. Ainsi, celui-ci traita essentiellement lors du débriefing du passage du nombre d'électrons de valence d'un atome à la répartition des doublets d'électrons (liants et non-liants) d'une molécule, bien que ces informations fussent également consignées sur la fiche de synthèse. L'insistance orale et écrite sur la structure électronique, et l'abandon à la seule fiche de synthèse de la structure géométrique peuvent s'interpréter par le fait que, pour cet enseignant, la ressemblance entre la structure géométrique et les représentations correspondantes est suffisante, ce qui n'est pas le cas pour la structure électronique.

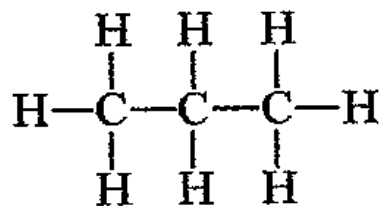


Figure 4 La formule développée du propane se trouvant dans la fiche de synthèse.

La relation de ressemblance entre la représentation d'une molécule et les signes utilisées par les chimistes est loin d'être limitées aux traditionnelles formules développées. La complexité du modèle-objet représenté et la variété de ses attributs requièrent quantité de types de représentations dont la suite de l'article va poursuivre l'analyse. Cette seule relation de ressemblance a permis également de formuler des hypothèses sur les pratiques enseignantes.

La relation de référence ou de désignation

Cette relation intervient en particulier dans les définitions de ce qui est représenté. Sallaberry (2000) a montré à quel point les jeunes enseignants de chimie peinaient pour fournir de réelles définitions, et qu'ils se limitent paresseusement à l'énoncé de caractéristiques. Il explique, dans le cas particulier de la définition d'un élément chimique, que son public peut dire que « un élément chimique est caractérisé par le nombre de charges Z », mais qu'il est rarement capable d'énoncer que « l'élément chimique est l'ensemble des particules (atomes ou ions) qui ont même nombre Z de protons ». Cette subtile différence entre les deux énoncés fait du second une définition, ce qui n'est pas le cas du premier, différence que ces

jeunes enseignants ont du mal à percevoir. Qu'en est-il des signes permettant la compréhension des notions liés à la structure moléculaire de la matière ?

La chimie met en jeu un grand nombre de signes qui sont autant de représentés dont on attend que l'enseignement fournisse des définitions. Ainsi, une liaison chimique covalente, représentée par un tiret –, ou la structure électronique stable d'un atome ou d'un ion représentée, par K^2 ou K^2L^8 , devraient pouvoir être définies par l'enseignant. Nos observations (infra) ont confirmé ce que Sallaberry a observé dans le cas de l'élément chimique, à savoir la difficulté d'assurer la fonction de référence pour expliquer ce que les signes utilisés en chimie signifient. Certes, tout comme la notion d'élément chimique relevée par Sallaberry, ces notions de liaison chimique ou de structure électronique sont délicates à définir, mais la relation entre ces notions et les signes correspondants est la seule emprise qu'un apprenant peut exercer pour en dégager une certaine compréhension. Comment l'enseignant peut-il s'y prendre ?

Nous avons constaté, dans les cas étudiés, que cette relation de désignation était souvent absente quand il s'agit de notions abstraites et fondamentales, comme celle de structure électronique. Lors du débriefing ML, nous avons trouvé, à la place :

- ✗ *Le chimiste dit que la structure électronique externe du néon et de l'argon est en octet* (dit par un élève, et satisfait l'enseignant).
- ✗ *On parle de structure électronique en octet lorsque la couche externe L ou M contient 8 électrons* (dicté et répété par l'enseignant).

Une telle utilisation des verbes *parler* ou *dire* (comme dans les citations précédentes) est intervenue 12 fois en 50 min. dans le débriefing-corrigé de l'activité expérimentale. A chaque fois, ce verbe a permis au professeur d'éviter de mettre en jeu la relation de référence entre le signe et ce qu'il représente, et à chaque fois, ce qui était représenté était un concept particulièrement abstrait. La fiche de synthèse de l'autre enseignant traitant de ce thème ne reprend pas plus ces notions délicates.

Des études d'ouvrages sur le même thème (Khanfour-Armalé et Le Maréchal, soumis) ont constaté que l'absence de relation de désignation peut être compensée de différentes façons.

A de rares exceptions près, la relation de désignation d'une notion aussi abstraite que celles liées aux structures électroniques est donc évitée et remplacée par différents artifices.

La causalité

La relation causale intervient au moins dans deux grandes catégories de signes en chimie. La première, dont nous parlerons peu, correspond aux signes résultant d'opérations automatisées. Les spectroscopies sont dans ce cas puis qu'un spectre indique que telle molécule (ou fragment de molécule) est présente dans l'échantillon. Ces techniques produisent donc des signes (comme la fumée) qui informent sur la cause qui les a produits

(le feu). Elles sont à ce titre de précieux instruments pour l'analyse chimique. La seconde relation causale correspond aux signes produits par des opérations conscientes.

En chimie, la relation de causalité du type fumée-feu avec des représentations conscientes est d'une certaine façon omniprésente. Par exemple, le fait qu'un trait relie deux atomes est le signe qu'une liaison existe dans la molécule correspondante ou, plus précisément, le signe que, dans le cadre de la théorie de Lewis, les deux atomes sont liés.

Lors du Débriefing ML après une partie substantielle sur les structures électroniques des atomes, l'enseignant aborde la molécule la plus simple : H_2 . Il débat sur les électrons des atomes H avant de se référer au modèle moléculaire pour conclure : *la boule blanche représente un atome d'hydrogène et entre les 2 boules on a représenté la liaison entre les 2 atomes d'hydrogène / cette liaison en fait est la mise en commun de 2 électrons*. Le tiret de la liaison est donc, dans les faits, la conséquence de l'existence d'une liaison entre les boules blanches du modèle moléculaire, donc d'un objet comme la relation fumée-feu, et non d'un concept au sein de la théorie de Lewis (terme qui n'avait pas encore été cité à ce stade du débriefing). Cette relation de causalité, certes plus délicate, n'en demeure pas moins la spécificité de la chimie. En revanche, cette spécificité apparaît dans la fiche de synthèse : *Dans la représentation de Lewis d'une molécule, les liaisons sont représentées par des tirets...* Cette relation causale impliquant le signe est donc un détail dont on peut dire qu'il est important pour l'enseignant, puisqu'il figure dans une fiche de synthèse, mais qui est trivial, puisque c'est le seul cadre théorique utilisé à ce niveau, et dont une explication orale peut faire l'économie.

L'opposition

Il s'agit ici d'analyser la relation, entre signe et représenté, qui résulte de la disposition de différents signes entre eux. Cette relation apparaît dans l'écriture de signes complexes (au sens où ils sont constitués de signes simples) comme pour les formules brutes. Ainsi, H_2O désigne l'eau alors que HO_2 désigne le radical hydroperoxyde. Une constatation analogue pourrait être faite pour les signes constituant la formule développée de la molécule d'eau. L'information contenue dans l'arrangement des signes les uns par rapport aux autres est donc essentielle et résulte de règles propres au système sémiotique utilisé.

Nous avons observé que cette relation pouvait être prise en charge à l'oral comme à l'écrit. Par exemple pendant le débriefing, l'enseignant précise les positions respectives de certains signes à propos de la représentation de la molécule l'ammoniac. Il explique la distinction entre les doublets partagés (liaison ou doublet liant représenté par un tiret entre deux symboles d'atome) et non partagés (doublet non liant représenté par un tiret au voisinage d'un seul symbole d'atome) ainsi : « ...vous avez 3 liaisons covalentes et puis au-dessus de N là vous avez un trait qui correspond / alors c'est pas une liaison puisque c'est pas un trait d'union entre 2 atomes / ces 2 électrons qui appartiennent à l'azote ».

Dans la fiche de synthèse, cette idée est reprise et la position respective des signes qui distingue les doublets liants et non-liants est explicitée. Examinons maintenant l'opposition des signes dans un tout autre type de représentation moléculaire apparue dans la fiche de synthèse de la séquence CS (annexe 2 document 2 f).

L'opposition des signes pour représenter les molécules intervient aussi quand les notions de concentration ou d'état de la matière sont mises en jeu. Les représentations de la figure 5 ont été rencontrées sur l'une de nos fiches de synthèses. Le petit rond ne désigne alors plus une molécule, car il en faudrait représenter 10^{23} . Ces petits ronds se rapprochent de ce que Duval (2006, p.54) appelle des *marques d'unités* qui peuvent être utilisées pour représenter des nombres (cinq bâtons pour le nombre 5, vingt et une croix pour le nombre 21). Le signe (bâton ou croix) n'a pas d'importance en soit. Il se limite à marquer une unité. Les arrangements configuratifs (deux paquets de 10 et un paquet de 1) peuvent avoir un intérêt cognitif quand il faut, par exemple, distinguer dizaine et unité. Les représentations de la figure 5 jouent ce rôle, mais leur nombre ne compte pas. Seuls comptent la conservation de ce nombre et l'espacement de ces marques d'unités afin de représenter la conservation de la matière lors de certaines opérations (fusion, dissolution, dilution), ou certains propriétés physico-chimiques comme l'état de la matière (cristallisé, liquide ou en solution

La relation d'opposition au sein des signes complexes utilisées pour les représentations moléculaires permettent donc d'analyser des situations fort diverses.

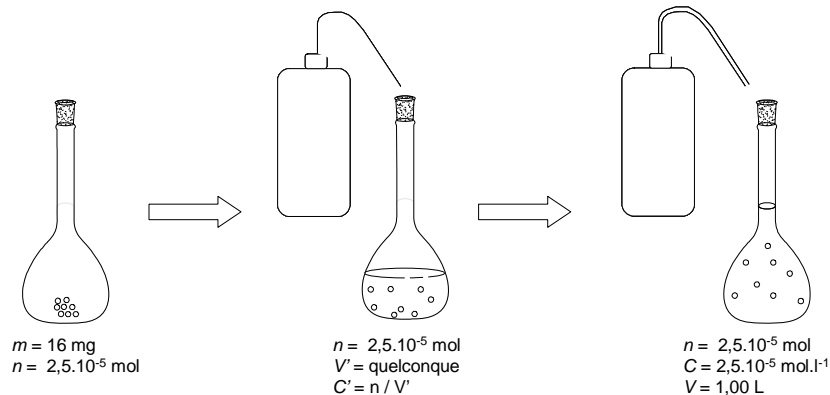


Figure 5 Représentation de la technique de préparation d'une solution.

La relation à quelque chose d'autre, aliud aliud

La nature de l'*aliud aliud* en chimie est particulièrement complexe. Pour Duval (2006) un signe représente une chose matérielle, une réalité idéale ou un autre signe. Il précise (p.56) qu'à la différence d'une chose matérielle, une réalité idéale ne peut pas être le terme d'une relation de ressemblance. Il pense aux nombres en mathématiques.

Les exemples évoqués ci-dessus montrent la grande variété – et l'hétérogénéité – de la nature des « choses » représentées au niveau atomique en chimie : molécule, structure électronique,

liaison chimique, molécule lors d'une opération de dissolution ou de dilution. Tous ces objets ont une nature de réalité idéale, et nous avons examiné ci-dessus, la relation de ressemblance entre signe et représenté. Nous avons compris que, contrairement à la citation de Duval que nous venons de proposer, la ressemblance existait entre une réalité idéale comme une molécule et le signe qui la représente, mais qu'il fallait spécifier ce que l'on entend par ressemblance.

Il arrive également qu'en chimie, un signe représente un autre signe. Comme en mathématique, un signe peut représenter un ensemble de signes qui réapparaît maintes fois dans un calcul, les formules de chimie sont fréquemment allégées en représentant la partie qui n'est pas le centre d'intérêt de la représentation par un symbole. Ainsi, l'éthanol $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--OH}$ est fréquemment noté ROH. Le symbole « R » désigne ainsi tout radical et permet d'énoncer des généralités propres à toute la famille des alcools. Cette utilisation d'un signe dépasse donc le cadre de la substitution par commodité ou raccourci puisque l'écriture d'une molécule devient du même coup l'écriture d'une classe de molécule (appelé famille chimique). Prendre conscience de la nature de l'*aliud aliud* apparaît-il dans notre corpus ?

Au cours du débriefing, la confusion entre les atomes ou les molécules et leurs représentations est presque en permanence évitée dans le discours de l'enseignant, comme par exemple dans « on a représenté la liaison [...] cette liaison est... ». Cette absence de confusion est le premier stade de la relation à l'*aliud aliud*. En revanche, l'enseignant n'a jamais évoqué la nature de celui-ci, c'est-à-dire nature théorique (réalité idéale) de la liaison chimique ou des molécules. Cette observation revêt pourtant quelque importance puisque, en chimie, une formule comme H_2O est aussi bien utilisée pour représenter une molécule (niveau microscopique) que la substance (niveau macroscopique).

Facettes et représentations sémiotiques

Les connaissances s'intègrent dans les représentations. Dans cette partie, nous allons présenter deux analyses en termes de facettes et de représentations : un tableau et une équation chimique.

A la fin de l'activité expérimentale TC, le tableau 6 a été rempli par les élèves. Le tableau rassemble un certain nombre d'informations liées à la réflexion qui est conduite pendant le travail expérimental. Il s'agit que les élèves mettent en place des informations importantes, mais qui ont été abordées de façon dispersées lors du TP. Ce tableau rassemble les informations se trouvant dans les réponses des deux questions 5 et 6 de l'activité (annexe 1 document 1h).

Composition du système chimique à l'état initial			Etat final	Nom et formule des EC éventuellement formées
NOM	FORMULE	QUANTITE DE MATIERE (mol)	DIRE SI CETTE EC EST PRESENTE DANS L'ETAT FINAL - En même quantité.	

			<ul style="list-style-type: none"> - En plus grande quantité. - En plus petite quantité. - On ne peut pas savoir. 	

Tableau 6 La composition du système chimique à l'état initial et à l'état final.

Dans ce tableau la composition du système chimique à l'état initial (nom, formule et quantité de matière), la présence de l'EC à l'état final (en même quantité, en plus grande quantité, en plus petite quantité, on ne peut pas savoir) ainsi que le nom et la formule des espèces chimiques éventuellement formées sont évoqués. Nous pouvons remarquer un certain nombre de concepts. Ces concepts sont liés par des relations. L'enseignant explicite ces relations à travers les facettes de connaissances mise en jeu dans son discours lors du remplissage du tableau avec ses élèves. Les facettes sont incorporées dans les représentations. L'enseignant explicite un certain nombre d'informations à travers les représentations.

Pour cela nous avons cherché à identifier les facettes se trouvant dans le tableau (a priori) et de les comparer aux facettes mises en jeu par l'enseignant lors du remplissage du tableau (a posteriori). Le tableau 7 montre les deux listes de facettes à priori et à posteriori.

Les facettes a priori sur l'espèce chimique, et système chimique se trouvant dans le tableau	Les facettes a posteriori sur l'espèce chimique, et élément chimique se trouvant dans le discours de l'enseignant en corrigeant le tableau avec ses élèves.
Une espèce chimique a un nom Une espèce chimique a une formule Une espèce chimique a une quantité de matière L'unité de la quantité de matière est la mole Le système chimique à l'état initial est l'ensemble des espèces chimiques à cet état Une espèce chimique à l'état final est en même quantité que l'état initial Une espèce chimique réactive à l'état final est en plus petite quantité que l'état initial Une espèce chimique produit à l'état final est en plus grande quantité que l'état initial Une espèce chimique produit se forme à l'état final	Une espèce chimique a un nom Une espèce chimique a une formule Une espèce chimique a une quantité de matière L'unité de la quantité de matière est la mole Une espèce chimique produit à l'état final est en plus grande quantité que l'état initial Une espèce chimique produit se forme à l'état final Dans une transformation chimique, les réactifs disparaissent et les produits apparaissent Un élément chimique a une masse

Tableau 7 : La comparaison des facettes à priori et à posteriori pour le remplissage du tableau 6

9 facettes ont été identifiées d'après le tableau a priori. Tandis que 8 facettes de connaissances ont été mises en jeu dans les productions verbales de l'enseignant lors de la correction du tableau avec ses élèves. Par ailleurs 6 facettes sont en commun.

Nous constatons une explicitation des connaissances dans l'utilisation de la représentation par l'enseignant. La représentation l'aide dans l'explicitation des connaissances qui ne sont pas mises en jeu évidemment lors d'une discussion de classe. Un tableau est très important et permet la relation entre plusieurs informations. L'activité de représentation rend concret et visible le concept en jeu.

La définition de l'équation chimique et des différentes étapes nécessaires pour l'écrire ont été évoqués dans la fiche de synthèse (dans la séance de TC) en premier lieu (annexe 2, document 2h). Deux exemples sont proposés juste après afin d'appliquer les différentes connaissances théoriques. Il s'agit dans les exemples d'écrire l'équation chimique de la combustion de l'aluminium dans le dioxygène avec formation d'alumine Al_2O_3 ainsi que celle de la transformation des ions argent Ag^+ avec le métal cuivre, donnant des ions cuivre Cu^{2+} et le métal argent.

Cette opération (représenter une transformation chimique) est une ré-application du travail demandé à l'élève dans l'activité expérimentale. En effet l'élève a fait une expérience et a identifié que c'est une transformation. Les notions d'états initial et final, de réactif et produit ont été dégagées dans le modèle qui accompagne la fiche de TP. Afin que l'élève puisse se les approprier, un questionnement autour d'une situation expérimentale a été proposé, en s'arrangeant pour que le modèle soit impliqué dans la réflexion que l'élève doit avoir. Il n'a été nullement demandé à l'élève d'écrire une équation chimique. Le travail se limite à comprendre que dans les produits de la vie quotidienne il y a des espèces chimiques, que certains mélanges conduisent à la transformation, et que l'étude de cette transformation requière une modélisation.

Maintenant dans la fiche de synthèse intervienne l'équation chimique et le bilan de matière. Du coup l'écriture de l'équation chimique de deux transformations chimiques est demandée de l'élève à ce stade. Le professeur estime que ça fait partie de l'apprentissage, que l'élève fait fonctionner le modèle : les expériences et les lois. Différentes facettes ont été mises en jeu lors de l'écriture de l'équation chimique.

Nous avons comparé les facettes apparaissant lors de l'écriture des ces deux équations chimiques durant la discussion entre l'enseignant et les élèves (à posteriori) aux facettes (à priori) que nous pouvons les estimer nécessaires pour en écrire une. Le tableau 8 ci-dessous montre les facettes à priori et à posteriori de l'équation chimique. Les facettes à priori sont toutes présentes dans la fiche de synthèse sauf une qui a été identifiée par le chercheur « *Une flèche ou un égale sépare les réactifs et les produits* ». Les facettes à posteriori ont été mises en jeu par l'enseignant lors de la discussion avec ses élèves concernant l'écriture des équations chimiques des deux réactions.

Les facettes a priori pour écrire une équation chimique	La liste de facettes a posteriori (en écrivant les 2 réactions chimiques proposée dans la fiche de synthèse) de réaction chimique et d'équation chimique
<p>Une équation chimique représente une réaction chimique à l'aide de symboles chimiques.</p> <p>Dans une équation chimique les formules des réactifs sont écrites dans le membre de gauche et celles des produits dans le membre de droite.</p> <p><i>Une flèche ou un égale sépare les réactifs et les produits</i></p> <p>Dans une équation chimique, des nombres précèdent chaque formule.</p> <p>Ces nombres sont appelés nombres stœchiométriques qui doivent être des entiers les plus petits possibles.</p> <p>Pour ajuster la stœchiométrie de l'équation, il faut qu'il y ait autant de chaque élément chimique parmi les réactifs que parmi les produits ;</p> <p>Pour ajuster la stœchiométrie de l'équation il faut que la somme des charges électriques des ions qui interviennent soit la même dans chaque membre de l'équation chimique.</p> <p>Un élément chimique présent parmi les réactifs, est présent parmi les produits et réciproquement.</p>	<p>Dans une réaction chimique, il y a présence de réactifs et de produits</p> <p>Dans la réaction chimique on met les réactifs à gauche et le ou les produits à droite</p> <p>Il y a conservation des éléments chimiques en qualité</p> <p>Les noyaux [des éléments chimiques] ne changent pas</p> <p>Il y a conservation des éléments chimiques en quantité</p> <p>La masse des réactifs qui disparaît est égale à la masse des produits formés</p> <p>La somme des charges électriques des ions qui interviennent soit la même dans chaque membre de l'équation chimique</p>

Tableau 8 : La comparaison des facettes à priori et à posteriori de l'écriture d'une équation chimique.

Nous avons constaté que l'enseignant a proposé 7 facettes de connaissances sur l'équation chimique, les réactifs, les produits, la conservation des éléments chimiques. Tandis que 8 facettes ont été proposées à priori pour écrire une équation chimique. Nous n'avons pas trouvé des facettes en commun entre celles à priori et celles mises en jeu par l'enseignant lors de l'achèvement.

Nous avons aussi constaté que, les facettes à priori élaborées par le chercheur sont des facettes qui donnent la règle de l'écriture de l'équation chimique. Ces facettes sont liées donc au registre sémiotique « équation chimique ». En revanche, les facettes à posteriori mises en jeu par l'enseignant sont des facettes nécessaires pour remplir un tableau d'avancement. Ces facettes sont donc liées au « référent » tableau d'avancement. Il s'agit là d'une intéressante observation sur les connaissances liées au référent et celles liées au registre. Nous pouvons dire que c'est une activité spécifique du registre sémiotique équation chimique.

Le registre sémiotique « équation chimique » système formé d'un ensemble de symboles a permis à l'enseignant de mettre l'élève dans une situation de réapplication du modèle déjà vu dans l'activité expérimentale.

La création de la fiche de synthèse

Dans le processus de création de la fiche de synthèse, nous cherchons à caractériser, l'origine de son contenu. Nous cherchons à caractériser, à l'aide de la notion de facette et de registres sémiotiques, les connaissances qui sont reprises, pour le débriefing, de la phase d'activité. Autrement dit nous allons comparer les facettes de connaissances se trouvant dans la fiche de synthèse à celles se trouvant dans le modèle. Cette comparaison se réduit aux facettes du modèle car nous n'en avons pas trouvé dans les fiches de TP. Les représentations se trouvant dans la fiche de synthèse seront comparées à celles se trouvant dans l'activité (fiche de TP et modèle).

Les facettes de connaissances

La comparaison des facettes dans la séance de TC a montré que l'enseignant M a repris dans sa fiche de synthèse la totalité des facettes se trouvant dans le modèle et en a ajouté d'autres. Nous avons constaté que 5 facettes ont été reprises à l'identique. Par exemple avec la facette Sc-Es1 « *Un système chimique, c'est l'ensemble des espèces chimiques présentes lors de la transformation chimique* » l'enseignant utilise les mêmes relations entre les concepts dans le modèle et la fiche de synthèse.

Par contre 6 autres facettes ont été mises en jeu par l'enseignant dans la fiche de synthèse soit en ajoutant, soit en supprimant, soit en ajoutant et en supprimant en même temps des concepts à celles se trouvant dans le modèle. Par exemple la facette Ei-Ré1 « *L'état initial c'est l'état où les réactifs sont mélangés* » a été reprise dans la fiche de synthèse de la façon suivante « *Ei-Sc-Ré L'état initial du système chimique est l'état où les réactifs sont en présence mais ne réagissent pas encore* ». Nous remarquons une précision dans la facette se trouvant dans la fiche de synthèse. D'autres exemples de réorganisation des facettes entre le modèle et la fiche de synthèse sont présentés dans le tableau 9 ci dessous

Réorganisation	Facettes fiche de synthèse	Facettes de modèle
	Système chimique – transformation chimique	Transformation chimique – système chimique – état initial – état final
Elimination de concepts	Sc-Tc1 un système chimique évolue au cours d'une transformation chimique (fiche de synthèse)	Tc-Sc-Ei-Ef1 la transformation chimique est le passage du système chimique de son état initial à son état final (modèle)
	Etat initial – réactif- système chimique	Etat initial – réactif
Ajout de concept	Ei-Sc-Ré2 L'état initial du système chimique l'état où les réactifs sont en présence mais ne réagissent pas encore	Ei-Ré1 L'état initial c'est l'état où les réactifs sont mélangés
	Réaction – réactifs – produits	Transformation chimique – réactif – produit
Echange de concept	Rc-Ré-Pr1 Dans une réaction	Tc-Ré-Pr1 Lors de la

	chimique les réactifs se transforment en produits	transformation chimique les réactifs disparaissent et les produits apparaissent
	Etat final – système chimique – réactif	Transformation chimique – réactifs
Ajout et élimination diminution de concepts	Ef-Sc-Ré1 L'état final du système chimique c'est l'état où l'un au moins des réactifs a totalement disparu	Tc-Ré1 La fin de la transformation a lieu dès qu'un des réactifs a totalement disparu

Tableau 9 les facettes de connaissances du modèle réorganisées dans la fiche de synthèse.

Par contre nous avons constatons dans la fiche de synthèse la présence d'autres facettes ne se trouvant pas dans le modèle (voir Annexe 6 document 6e''). Ces facettes sont soit :

- ✗ des facettes nouvelles (7 facettes de connaissances) en rapport avec la suite de la séquence (la partie équation chimique),
- ✗ des facettes antérieures (3 facettes de connaissances en rapport avec la conservation de l'élément chimique) et
- ✗ des facettes en rapport avec des erreurs commises lors de l'activité expérimentale (3 facettes où les élèves mettent en jeu des connaissances exprimant l'ébullition comme étant une transformation chimique).

De même la comparaison des facettes dans la séance de ML a montré que l'enseignant C a repris dans sa fiche de synthèse presque la totalité des facettes se trouvant dans le modèle et en a ajouté d'autres. Nous avons constaté qu'un certain nombre (4 facettes de connaissances) a été repris exactement le même.

Par contre d'autres connaissances (7 facettes de connaissances) ont été mises en jeu par l'enseignant dans la fiche de synthèse soit avec une réorganisation des concepts en relation. Des facettes particulières ont été généralisées. Par exemple les deux facettes suivantes se trouvant dans l'activité: « *la structure électronique externe de l'hélium est en duet et la structure électronique externe du néon et de l'argon est en octet* » ont été généralisées par l'enseignant de la façon suivante : « *les gaz nobles ont la règle du duet et de l'octet* ».

Par contre nous avons constatons aussi la présence d'autres facettes ne se trouvant pas dans le modèle (voir Annexe 6 document 6d''). Ces facettes sont des facettes nouvelles (7 facettes de connaissances) en rapport avec la suite de la séquence (la partie isomérisation, ions et formules des molécules).

Par ailleurs, l'enseignant ne reprend pas un certain nombre de facettes du modèle. Ces facettes sont des facettes techniques par exemple la facette « *dans une molécule, pour dénombrer les électrons externes de chaque atome, on compte les électrons ne formant pas* ».

de liaison et on ajoute deux électrons pour chaque liaison à laquelle l'atome participe » ou des facettes mettant en jeu du détail sur une connaissance.

Nous avons étendu notre comparaison aux fiches de synthèse et fiche d'activités supplémentaires récupérées des enseignants.

Dans la séquence de Qm, l'enseignant M dans sa fiche de synthèse (voir annexe 2 document 2 e) reprend la totalité des facettes se trouvant dans la fiche de TP (modèle sous forme de cadres voir annexe 1 document 1 f). Cette reprise a été accompagnée d'exemples provenant de la fiche de TP.

Dans la séquence de CS, M reprend, dans sa fiche de synthèse (voir annexe 2 document 2 g), la totalité des facettes de connaissance se trouvant dans le modèle. Ces facettes portent sur la dissolution, la dilution et la concentration d'une solution du point de vue macroscopique et microscopique. En même temps M ajoute des connaissances nouvelles en rapport avec la suite de la séquence mettant en jeu le facteur de dilution F. H pour la même activité reprend dans sa fiche de synthèse presque la totalité des facettes de connaissances se trouvant dans le modèle.

La comparaison des facettes se trouvant dans le modèle à celles se trouvant dans la fiche de synthèse nous a permis de constater que l'enseignant :

- ✗ conserve un certain nombre des facettes se trouvant dans le modèle avec les mêmes relations entre les concepts,
- ✗ reprend un certain nombre des facettes se trouvant dans le modèle en les réorganisant d'une autre façon (autre relation entre les concepts)
- ✗ supprime les facettes techniques et détaillée se trouvant dans le modèle
- ✗ généralise les facettes particulières
- ✗ reprend des facettes de connaissance antérieures
- ✗ ajoute des facettes mettant en jeu des connaissances qui permettent de corriger les erreurs commises par les élèves lors de l'activité.

Il s'agit là d'une intéressante observation d'une part sur la continuité du savoir (les facettes de connaissances antérieures) et d'autre part sur le débriefing qui est un appui de l'activité expérimentale (les facettes portant sur les erreurs des élèves). Nous pouvons aussi dire que la fiche de synthèse est une fiche qui permet d'articuler plusieurs types d'informations.

Les registres sémiotiques

L'étude des représentations sémiotiques a montré que les enseignants, dans leurs fiches de synthèse reprennent des représentations de la fiche de TP. Cette étude nous a montré aussi que certaines représentations ont été omises, d'autres transformées et finalement de

nouvelles ont été trouvées dans les fiches de synthèse. Nous allons présenter des exemples dans les paragraphes suivants sur la reprise, l'omission, la transformation et la présence de nouvelles représentations.

Divers représentations, figurant dans les fiches de synthèse, ont été reprises par les enseignants des fiches de TP. Citons par exemple dans la séance Qm, les diverses formules nécessaires pour faire un calcul (voir exemple tableau 10, annexe 2 document 2 e). Dans la séance CS, H reprend, de la fiche de TP, les représentations microscopiques de la dissolution ainsi que de la dilution. (voir exemple figure 6 et fiche de synthèse annexe 2 document 2 f). Dans la séance de CC, l'enseignant H reprend le montage de la technique de la chromatographie (voir fiche de synthèse annexe 2 document 2 a)

$$n = \frac{N}{N_A}$$

N nombre d'entités identiques ;
 N_A nombre d'Avogadro (en mol^{-1})
 n est la quantité de matière (en mol)

Tableau 10 La formule utilisée dans le TP pour le calcul de la quantité de matière.

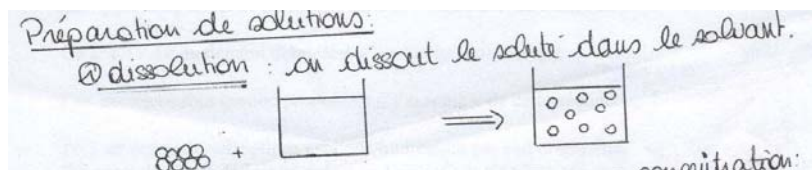


Figure 6 La représentation microscopique de la dissolution : représentation du solide seul + le bécher contenant de l'eau seul donne le soluté dissout.

Des modifications ont affectées certaines représentations entre la fiche de TP et la fiche de synthèse (voir les registres sémiotiques activité ML). Dans la fiche de TP ML (Non sesames) différentes molécules (molécule de dihydrogène, d'ammoniac, d'éthanol etc.) ont été mises en jeu sous différentes représentations (représentation de Lewis, formule développée etc.). Tandis que l'enseignant dans sa fiche de synthèse évoque une seule molécule (la molécule de méthane) pour mettre en jeu les différentes représentations (représentation de Lewis, la formule développée, et la représentation de Cram).

Des nouvelles représentations ont été retrouvées dans les fiches de synthèse. Nous avons constaté par exemple dans la séance de CC, la présence d'un tableau de comparaison entre la chromatographie sur couche mince et la chromatographie sur colonne (annexe 2 document 2 a). Des nouvelles formules ont été retrouvées par exemple dans la séance de CS (annexe 2 document 2 g), et des équations chimiques dans la séance de TC (annexe 2 document 2 h).

Par ailleurs plusieurs représentations ont été omises des fiches de synthèses. Par exemple le montage d'expérience (figure 2) se trouvant dans la séance TC a été ignoré de la fiche de synthèse. Divers tableaux de valeurs n'ont pas été repris comme par exemple le tableau comparatif des différentes espèces chimiques solides liquides ou gazeuses se trouvant dans le TP Qm (voir tableau 11).

Formule de l'espèce chimique	Etat physique (20°C sous 1 bar)	Masse volumique (g.cm ⁻³)	Masse molaire (g.mol ⁻¹)	Volume molaire V _m (cm ³ .mol ⁻¹) (L.mol ⁻¹)	
Fe	solide	7,8			
NaCl	solide	2,2			
C ₂ H ₆ O (éthanol)	liquide	0,78			
Cl ₂	gaz	3,0.10 ⁻³			
CH ₄	gaz	6,7.10 ⁻⁴			
H ₂	gaz	8,3.10 ⁻⁵			

Tableau 11 : Tableau comparatif de différentes espèces chimiques solides liquides ou gazeuses.

Nous pouvons remarquer que l'enseignant sélectionne les représentations présentées dans la fiche de synthèse. Ces représentations sont parfois reprises de la fiche de TP quand il s'agit de connaissances, transformées pour représenter un certain aspect général. Par ailleurs l'enseignant ajoute des représentations permettant d'aider l'élève dans l'apprentissage (tableau de comparaison) ou des nouvelles connaissances qui forment la suite de la séquence.

Analyse conversationnelle

L'étude conversationnelle des deux débriefings TC et ML a montré des résultats similaires. Nous avons catégorisé les interventions initiatives, réactives et évaluatives des enseignants et des élèves lors de la lecture de la fiche de synthèse. Nous avons constaté le schéma général de l'échange ternaire suivant :

- ✗ une intervention initiatrice : qui est une demande de l'enseignant et est souvent la lecture ou la continuation de la lecture de la fiche de synthèse,
- ✗ une intervention réactive : qui est une exécution de la part de l'élève, la lecture de la fiche de synthèse et finalement
- ✗ une intervention évaluative : qui est un commentaire de l'enseignant suite à la lecture, relative à la partie lue par l'élève.

L'exemple ci-dessous clarifie mieux la situation :

Prof [...] alors / donc on était à système chimique tu me lis la remarque

Ed : un système chimique évolue au cours d'une transformation chimique l'ébullition de l'eau n'est pas une transformation chimique, l'espèce chimique eau se transforme de l'état liquide à l'état gazeux mais il n'y a pas apparition d'une nouvelle espèce chimique

Prof : donc là c'était pour faire la petite remarque pour ceux qui m'ont parlé d'ébullition à cause de l'effervescence à la différence entre effervescence et ébullition une ébullition j'ai pas apparition d'une nouvelle espèce chimique c'est la même espèce chimique mais qui change d'état physique donc c'est plus une transformation chimique / (respiration) après

Dans la première séance TC, qui a duré 17 minutes, nous avons compté 11 échanges ternaires dont 7 sous forme de demande exécution et commentaire et 4 échanges sous forme de question réponse et évaluation. Nous avons constaté 2 échanges enchâssées (commençant par des demandes s'accomplissant par des exécutions de la part de l'élève mais où nous n'avons pas remarqué de commentaires de la part de l'enseignant après l'exécution).

9 des 13 initiations étaient des demandes de lire la fiche de synthèse et les 4 autres étaient des questions de contexte faisant le lien avec le TP. Les réactions des élèves étaient la lecture de la fiche et des réponses suivant l'initiation de l'enseignant. Nous avons décompté 7 formulations (4 répétitions, 2 récapitulations, 1 reformulation), 4 traitements de la connaissance (3 ajout de connaissance et 1 porte jugement), 8 contextualisations et 2 généralisations. L'enseignant après les 4 questions de contexte et les réponses des élèves intervenait par son évaluation en ajoutant des connaissances et portant jugement sur la connaissance mise en jeu par l'élève).

Dans la première séance de ML, qui a duré 7 minutes, nous avons compté 9 échanges ternaires dont 8 sous forme de demande exécution et commentaire et 1 échange sous forme de question réponse et commentaire.

8 des 9 initiations étaient des demandes de lire la fiche de synthèse et 1 était une question de contexte. Les réactions des élèves étaient la lecture de la fiche. Nous avons décompté 1 formulation et 3 traitements de la connaissance (2 ajouts de connaissance et 1 porte jugement).

Nous constatons un nouveau schéma de l'échange ternaire lors de la lecture de la fiche de synthèse (demande, exécution et commentaire). Les commentaires de l'enseignant suite à l'exécution sont la plupart du temps des ajouts de connaissances.

Lien avec le TP

Dans le débriefing, l'enseignant reprend la responsabilité de la manipulation du savoir, en relation avec l'activité. Deux conditions sont *simultanément* nécessaires: les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage dans l'activité, de même que le contexte dans lequel l'activité a été conçue pour la mise en œuvre de ces connaissances.

La relation entre l'activité et la fiche de synthèse a été étudiée à travers la création de cette fiche. Dans le processus de création, nous avons constaté à l'aide de la notion de facette et de représentations sémiotiques, que les enseignants reprennent presque la totalité des connaissances mises en jeu dans la phase d'activité, dans leur fiche de synthèse. Nous pouvons conclure que, pour les deux séances de débriefings TC et ML, les connaissances objets de l'apprentissage étaient présentes. La première condition qui permette la relation entre le débriefing et l'activité a été vérifiée.

La deuxième condition peut être vérifiée à travers les exemples provenant du contexte de l'activité et se trouvant dans la fiche de synthèse. Nous pouvons la vérifier aussi à travers l'étude de la relation entre l'activité et la lecture de la fiche de synthèse. Pour le faire, nous avons identifié dans la fiche de synthèse les concepts objets de l'apprentissage et se trouvant en même temps dans la fiche de TP. Nous avons constaté d'après le tableau 12 que l'enseignant fait le lien avec le contexte du TP. L'enseignant en lisant chaque définition, se trouvant dans la fiche de synthèse, faisait le lien avec l'activité expérimentale à travers les questions de contexte et les contextualisations. Il est possible de savoir plus en lisant l'extrait de transcriptions suivant :

Prof : alors ça j'ai pris le texte ce que vous aviez sur votre modèle /oui tu continues

Ed : une espèce chimique qui apparaît s'appelle produit

Prof : alors ici qu'est ce qu'on avait comme produit / qu'on a vu dans notre TP / produit du TP qu'est ce qu'on avait

Ed : CO₂

Cet extrait nous montre une intervention de l'échange précédent et l'échange ternaire suivant. Dans l'intervention de l'échange précédent, l'enseignant fait le lien avec le modèle qui accompagne la fiche de TP. Tandis que dans l'échange suivant, l'enseignant le faisait autrement. Après la lecture de la définition de l'espèce chimique par l'élève, l'enseignant faisait le lien avec le TP à travers la question qu'est ce qu'on a comme produit vu dans notre TP.

Les concepts figurant dans la fiche de synthèse	Lien avec le TP durant la lecture de la fiche
Transformation chimique	A travers un exemple du livre généraliser les résultats du TP t121
Produit	Produit du TP t129-131
Réactif	Réactif du TP 133-135
Système chimique	Récapitule les résultats du TP 137-139
ébullition	T141 erreur dans les comptes rendus
état initial	Lien avec le TP t137

état final	Etat final dans le TP les observations 145-147
réaction chimique	
Ions spectateurs	Lien avec le TP : autres t149
Elément chimique	Lien avec le TP 149

Tableau 12 Les concepts présents dans la fiche de synthèse et leur lien avec l'activité expérimentale

L'enseignant C dans la séance ML lisait la fiche de synthèse avec ses élèves sans faire le lien avec le contexte de l'activité. Mais les exemples se trouvant dans la fiche de synthèse remettent le contexte de l'activité. La lecture de la fiche était une lecture simple. Tandis que l'enseignant M faisait une lecture commentée de la fiche de synthèse.

L'enseignant M comme C a effectué un retour sur les différents textes fournis lors de l'activité. En revanche, il a projeté le contexte expérimental de l'activité dans le nouveau tissu de connaissances que l'élève va devoir apprendre. Cette projection a été faite à travers les exemples avec l'enseignant C et à travers les questions de contexte et les contextualisations avec l'enseignant M.

Remarques concluantes et implications pour l'enseignement

L'approche linguistique, didactique et sémiotique des débriefings fiche de synthèse a évoqué l'intérêt de cette pratique enseignante, et a montré ses avantages. La distribution d'une fiche de synthèse, dans les séances observées, était à la fin d'un débriefing-corrigé de l'activité. Les débriefings de cette classe que nous avons observés sont surtout des discussions de classe durant l'exploitation de la fiche de synthèse. Ce débriefing a été rarement observé. Il nous semble constituer la seconde forme de débriefing après le corrigé d'activités. Cette classe de débriefing permet à l'enseignant de faire profiter les élèves d'une trace écrite.

La discussion ci-dessous reprend certains des avantages des débriefings fiches de synthèse, et propose quelques pistes, d'une part en parlant de l'utilisation de la fiche par les enseignants et d'autre part en utilisant les registres sémiotiques.

Importance et avantages de la fiche de synthèse

En se laissant guider par le texte du TP, l'enseignant reprend des connaissances de l'activité (fiche de TP et modèle), laisse une trace écrite qui pourrait être plus adaptée pour présenter l'ensemble des connaissances du domaine étudié. Les débriefings fiche de synthèse qui interviennent sous la forme d'une discussion de classe sont donc des moments où l'enseignant arrive avec un document qui peut être de différentes natures.

La fiche de synthèse qui a été créée par l'enseignant est un document construit ou à construire avec les élèves. L'enseignant partage avec l'ensemble de la classe ce document qu'il a réfléchi comme étant la synthèse et qui condense l'information d'un enseignement. Divers connaissances sont reprises du modèle auxquelles j'ajoute des connaissances antérieures et des nouvelles.

Nous avons remarqué le souci de l'enseignant d'en arriver à remplir le besoin de l'élève et de le faire profiter de cette séance du débriefing qui suivait une activité expérimentale. Ce souci s'exprime pour l'un par le fait de faire une synthèse, pour l'autre de faire une articulation entre les différents thèmes de la séquence d'enseignement, et en utilisant en même temps les connaissances mises en jeu et manipulées par les élèves lors du TP.

Cette fiche de synthèse peut contenir des comparaisons (chromatographie à couche mince et chromatographie sur colonne) et des articulations de connaissances. L'enseignant à travers la fiche de synthèse peut articuler par exemple deux activités expérimentales. Il essaie de rapprocher les connaissances mises en jeu par les élèves lors de ces deux TP pour les comparer. Il peut aussi articuler un TP avec la suite de la séquence à travers les connaissances nouvelles qu'il met en jeu dans la fiche de synthèse. Celle-ci permet donc l'articulation de deux TP ou d'un TP avec la suite de la séquence.

Cette fiche regroupe l'essentiel des connaissances en suivant le cheminement de l'activité. La forme des connaissances mises en jeu est opérationnelle et fait appel à différents registres sémiotiques.

La contextualisation et la généralisation qui sont fondamentales dans l'enseignement des sciences occupent une partie dans le dialogue et particulièrement lors de la lecture de cette fiche. La contextualisation est indispensable au débriefing et elle en devient une propriété nécessaire comme elle permet le lien avec l'activité expérimentale. L'information est donc plus facilement conservée à travers une fiche de synthèse.

La discussion de classe est un échange ternaire : demande, exécution et commentaire. Dans les observations que nous avons faites, les interventions des élèves étaient sous forme d'exécution et rarement sous forme de réponse. Ce qui peut s'interpréter par le fait que les élèves n'ont peut-être pas grand-chose à dire au niveau de l'interrogation. Ils ont pu s'interroger pendant le temps de l'activité, et la lecture de la fiche de synthèse les incite à accumuler l'information et condenser les connaissances mises en jeu par l'enseignant.

Un grand nombre de facettes ont été mises en jeu dans la fiche de synthèse et même lors de sa lecture. Nous pouvons conclure que la fiche de synthèse est trois fois plus riche qu'un débriefing-corrigé car elle permet:

- ✗ de présenter le modèle d'une autre façon,
- ✗ de le ré-explore lors de la lecture de la fiche et
- ✗ de le dépasser à travers les connaissances antérieures et nouvelles.

Le débriefing impliquant une fiche de synthèse permet de faire des répétitions des connaissances se trouvant dans le modèle, d'une part à travers le document et d'autre part à travers sa lecture. Des nouvelles facettes sont évoquées dans la fiche de synthèse, ce qui n'est pas le cas dans un corrigé. Une trace écrite est à disposition de l'élève alors que dans le corrigé ce n'est pas le cas.

Les facettes de connaissances permettant de rectifier les erreurs rencontrées avec les élèves lors du TP ainsi que la reprise des connaissances antérieures montrent l'intérêt du débriefing. Il s'agit d'une observation intéressante sur la continuité du savoir et l'évolution de la préparation de l'enseignant pendant un enseignement par activités.

L'enseignant et la fiche de synthèse

Nous avons constaté une grande homogénéité dans la création des fiches de synthèse à travers les facettes et les représentations. Pour que l'élève s'y retrouve, c'est-à-dire pour qu'il ne manque pas d'informations indispensables, il semble nécessaire qu'il puisse se référer à un texte du savoir rassemblant l'information d'un enseignement. Les enseignants semblent en trouver un alternatif au livre à travers la fiche de synthèse. Nous en concluons que cette fiche de synthèse est créée à travers l'activité du point de vue des connaissances et des représentations sémiotiques. Elle permet à l'élève de conserver une trace écrite après un enseignement par activité. Cette dernière est formulée dans un langage plus complexe et moins contextualisé que ce que l'enseignant prodiguait dans son discours. La relation, entre l'activité faite en TP et la fiche de synthèse, est immédiate et la relation entre l'élève et la fiche est prise en charge par l'enseignant, à travers la lecture en classe et les exemples présents.

Dans les séances observées, une fiche n'a pas été utilisée en classe par l'enseignant (elle était à lire par les élèves chez eux), une autre a été lue avec les élèves et une troisième lue et mise en relation avec le TP. Pendant le TP, l'élève a certainement manipulé un certain nombre de connaissances qui sont sous une forme ou sous une autre mais l'enseignant a fait tout un travail sur les connaissances lors de la création de la fiche de synthèse. Pour assurer l'apprentissage des élèves et ne pas perdre la pertinence de cet outil contenant des connaissances nouvelles et des représentations variées, l'enseignant doit faire une marge d'amélioration au niveau de son utilisation en classe. De même une construction d'une partie de la fiche avec la classe, à partir des connaissances mises en jeu lors du TP, rend le travail très intéressant.

L'enseignant et les registres sémiotiques

Nous avons constaté une variabilité dans l'utilisation des représentations par les enseignants. Lors de la discussion l'enseignant choisit les éléments de la représentation parce qu'il n'a

pas besoin de tout pour contextualiser la situation. Nous avons remarqué qu'il sélectionne les représentations présentées dans la fiche de synthèse. Ces représentations sont parfois reprises de la fiche de TP quand il s'agit de connaissances objets de l'apprentissage, transformées pour représenter un certain aspect général. Par ailleurs l'enseignant ajoute des représentations permettant d'aider l'élève dans l'apprentissage (tableau de comparaison) ou des nouvelles connaissances qui forment la suite de la séquence.

Nous avons observé divers types de tableaux. Le tableau est une présentation des connaissances avec des relations entre les cases rarement explicitées. L'enseignant ne parle jamais de ces relations et au cas où il le fait nous ne les trouvons pas dans les cahiers des élèves parmi leurs notes. Les connaissances se trouvant dans une même colonne sont homogènes et elles sont hétérogènes d'une colonne à l'autre. Ce n'est pas le cas pour un autre tableau utilisé dans une autre situation. Donc l'utilisation d'un tableau dans une fiche de synthèse doit alerter sur la complexité de cet outil de travail. Quand nous voyons cette complexité, nous nous demandons comment l'élève peut se débrouiller seul avec une fiche de synthèse ?

Dans les tableaux par exemple figure un certain nombre de concepts. Ces concepts sont liés par des relations. L'enseignant les explicite à travers les facettes de connaissances mise en jeu dans son discours lors du remplissage du tableau avec ses élèves. Les facettes sont incorporées dans les représentations. Ainsi nous pouvons dire que la représentation aide l'enseignant dans l'explicitation des connaissances qui ne sont évidemment pas mises en jeu lors d'une discussion de classe.

Nous avons aussi constaté dans le cas de l'équation chimique des facettes de connaissance qui sont liés au registre sémiotique « équation chimique » et d'autres liées au « référent » tableau d'avancement. Nous pouvons dire que c'est une observation intéressante des représentations utilisées en chimie. De même nous avons remarqué des représentations microscopiques des molécules dans le cas de la chromatographie, de la dilution et de la dissolution d'une solution. Ces représentations servent à distinguer certaines notions qui sont l'objet de l'apprentissage et ces relations font parfois appel au niveau microscopique.

Les référents multiples

Nous avons constaté que l'enseignant dans sa fiche de synthèse évoque une seule molécule (la molécule de méthane) pour mettre en jeu les différentes représentations (représentation de Lewis, la formule développée, et la représentation de Cram). L'utilisation de plusieurs systèmes, pour un même représenté, n'est pas une redondance d'information, mais un enrichissement des connaissances liées au représenté. Et du point de vue de l'apprentissage, la coordination de plusieurs systèmes utilisés pour un même objet de savoir permet de mieux

appréhender un représenté donné. Cela concerne bien évidemment l'enseignant de chimie qui ne peut, d'une molécule par exemple, ne montrer que des représentations, le représenté n'étant pas perceptible. D'après Duval (1995, p.75), cette compréhension d'un représenté, qui intègre plusieurs systèmes sémiotiques, favorise l'activité de transfert qui manque tant aux apprenants.

Par contre nous avons observé parfois un même signe qui a deux référents l'un concret et l'autre abstrait par exemple un cercle sur un schéma de chromatographie signifie une tache (figure 7) et sur un schéma dans un bécher signifie les particules du soluté (figure 8). Cette utilisation peut créer un obstacle chez l'élève. Pour cela les enseignants doivent être prudent dans l'utilisation des représentations pour qu'il reste un outil intéressant.

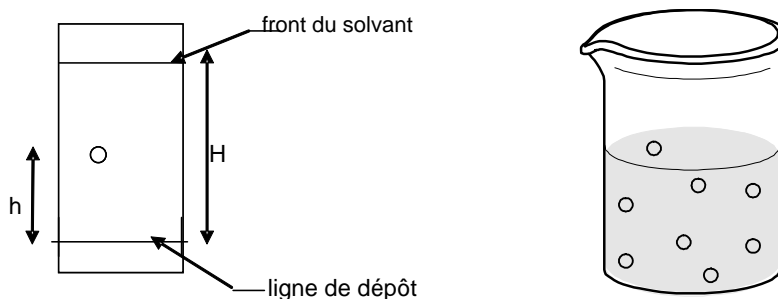


Figure 7 Le schéma de la chromatographie (à gauche) et de la dissolution (à droite).

Systèmes sémiotiques et représentations moléculaires

Considérons trois types de représentations utilisées dans la séance de ML (gardons nous pour l'instant de les qualifier de systèmes sémiotiques) : (1) les formules brutes, (2) les formules développées et leurs variantes (formule semi-développée ou schéma de Lewis) et (3) la représentation de Cram. Chacun de ces types est géré par des règles. Or, à l'instar des poupées russes emboîtées, toutes les règles utilisées pour produire des formules brutes (niveau « central » de l'emboîtement figure 8) sont utiles pour les autres types de représentations, et toutes les règles des formules développées (niveau 2 de l'emboîtement) sont aussi utiles pour les représentations de Cram (niveau 3 de l'emboîtement figure 8). Au regard du chimiste, un tel emboîtement pourrait apparaître comme un unique système sémiotique tant ces différentes représentations sont devenues un unique langage familier. Cependant, ces différents types de représentations agissent comme des degrés de liberté laissés à son mode d'expression. Il s'agit effectivement de trois systèmes sémiotiques, un peu particulier puisque emboîtés. De fait, pour l'enseignement, il s'agit de trois domaines distincts qui ont, à notre connaissance, toujours été enseignés à partir du niveau central. Le

passage d'un système au système du niveau supérieur fait l'objet d'un apprentissage à la fois des règles propres à chaque système et de la conversion d'un système à l'autre. Nous découvrons ainsi une structure de systèmes sémiotiques propre aux représentations moléculaires qui semble ne pas avoir été décrite pour d'autres domaines. Dans leurs travaux Khanfour-Armalé et Le Maréchal (soumis) ont montré que les changements de systèmes sémiotiques permettent de montrer un nouvel aspect du représenté.

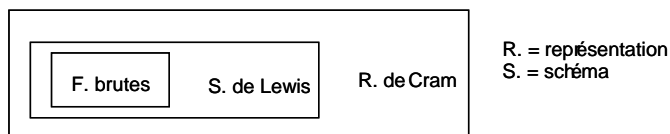


Figure 8 – Représentation de certains emboîtements des représentations moléculaires

Grâce aux règles de la chimie, les informations géométriques contenues dans une représentation permettent d'en déduire tout ou partie des informations nécessaires à la représentation du même représenté dans un autre système sémiotique (représentation en ruban). Ce n'est pas le cas entre le mot pipe et le dessin d'une pipe. Apprendre à passer d'une représentation à l'autre est donc un moyen de faire fonctionner les règles de la chimie, ce qui est un point important pour l'apprentissage.

Pendant le débriefing, l'enseignant a passé tout son temps à débattre des structures électroniques, laissant les élèves gérer les systèmes sémiotiques des molécules avec la seule fiche de synthèse. Il est possible que pour l'enseignant, la relation de ressemblance soit suffisante pour ne pas passer de temps, en renvoyant les élèves au document écrit distribué.

Faire confiance à la relation de ressemblance dans l'enseignement de représentations est regrettable puisque, par nature, les systèmes sémiotiques permettent avantageusement de traiter l'information et de la convertir. Il se trouve qu'en mathématique, les opérations de traitement sont fréquentes alors que celles de conversion sont rarement prises en charge par l'enseignement. C'est le contraire pour ce qui concerne la chimie au lycée, l'activité de conversion est fréquente alors que le traitement est rare (Khanfour-Armalé et Le Maréchal, soumis). La conversion n'a pas été prise en charge par le débriefing, mais nous en avons trouvé dans une des 8 fiches de synthèse récupérées. L'enseignant y décrit un algorithme pour passer de la formule brute au schéma de Lewis.

Représentations moléculaires en enseignement

Les modèles moléculaires (figure 12) sont des objets largement utilisés dans l'enseignement. Ils ont été impliqués dans de nombreuses recherches en didactique de la chimie (Ealy, 2004, et références incluses). Par exemple, Harrison et Treagust (2000) se sont interrogés sur la façon dont les élèves articulent les différents modèles qui leur sont présentés dans l'enseignement pour améliorer leur compréhension conceptuelle de la chimie. Les modèles

moléculaires, classés par ces auteurs dans les modèles analogiques, peuvent être constitués, suivant les cas, de boules et/ou de tiges qui les relient pour reproduire la forme des molécules. Ces objets matériels ne sont pas des représentations au sens sémiotique du terme, car ils ne sont pas en deux dimensions. Pourtant, ils en ont toutes les caractéristiques du point de vue du cadre théorique développé ici : relations entre ces objets et ce qu'ils représentent ; activités cognitives qu'ils permettent. En effet, la relation de ressemblance avec les caractéristiques géométriques des molécules est évidente. C'est même la raison d'être première de ces modèles dans l'enseignement et la « force » de cette ressemblance va jusqu'à induire des difficultés chez les élèves qui, par exemple, comprennent la notion de liaison chimique comme un lien et non comme une interaction (Harrison et Treagust, 2000). Les autres relations représentation-représenté sont également utilisables. Plus de données et d'analyses seraient nécessaires pour les voir apparaître dans l'enseignement, mais de telles situations peuvent être imaginées. Par exemple pour la relation de désignation, il est permis d'envisager qu'une partie du modèle moléculaire soit désignée et que l'utilisateur dise : *soit ce point le centre de gravité de la molécule*. Quant aux activités cognitives qu'ils permettent : la communication est évidente ; l'activité de conversion est fréquente et se fait couramment pour transformer une représentation (une véritable, en deux dimensions) d'un système sémiotique dans un autre. Ainsi, avoir sous les yeux le modèle moléculaire aide. Les différents modèles de la figure agissent également comme des systèmes sémiotiques distincts au sens où chacun montre de la molécule un aspect particulier. Le modèle compact (figure 9 a) montre l'espace occupé par les électrons des atomes (rayons de Van der Waals) alors que le modèle boule et tige (figure 9 b) matérialise à la fois les atomes et les liaisons qui les unissent. A part leur dimensionnalité, les modèles moléculaires ont donc toutes les caractéristiques des représentations. Ils sont d'ailleurs utilisés comme tel en classe.

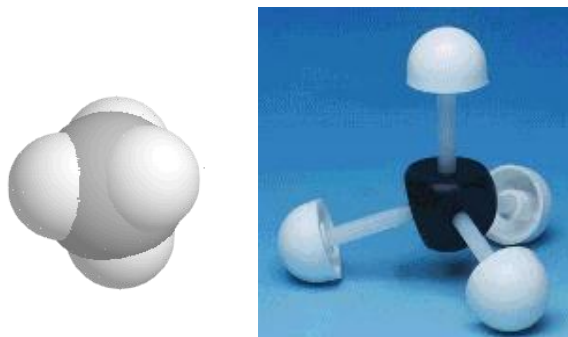


Figure 9 Trois exemples de modèles moléculaires commerciaux: (a) Compact (*space filling model*), (b) Eclaté (*ball and stick model*),

Le cadre théorique de Duval proposé pour comprendre le rôle des signes dans l'apprentissage des mathématiques s'est révélé fructueux en chimie. Nous avons pu le montrer dans le cas de l'articulation entre le débriefing d'une activité d'enseignement et la fiche de synthèse correspondante.

Chapitre 7 Débriefing en faisant un cours structuré

Introduction

Nous avons présenté, dans le chapitre 1, deux situations d'enseignement possibles. Au cours de la première, les enseignants sont en charge de la structuration et de la formulation de nouvelles connaissances lors d'un cours, puis les élèves sont chargés d'utiliser ces connaissances dans une activité expérimentale (TP) ou dans des exercices plus tard. Cette situation était classique avant la réforme des programmes. Tandis qu'au cours de la deuxième, recommandée par les instructions, les nouvelles connaissances sont en premier lieu à être manipulées par les étudiants au cours des activités expérimentales. C'était le cas dans les séquences d'enseignement observées.

Lors de nos observations, nous avons remarqué des débriefings n'ayant pas la forme d'un corrigé et n'impliquant pas une fiche de synthèse. Nous allons supposer que ces séances sont des débriefings ayant la forme d'un cours. Nous relaterons donc dans ce chapitre l'étude des conditions qui permettent de décrire ces débriefings au moyen de deux exemples avec deux enseignants et deux séquences d'enseignement.

La définition du débriefing cours

Un débriefing est dit du type cours quand le professeur prend la responsabilité du savoir. Ce qui se passe en classe n'est plus une simple conversation mais plutôt une présentation qui a une certaine structure, et organisée pour que les élèves en constituent une trace écrite.

Cadre théorique

Le cours dans la littérature

« Le cours » reste l'un des principaux moyens pour aider les élèves à comprendre la chimie. (Russell et coll., 1997). Bligh (2000), dans *What's the Use of Lectures?*, argumente que le « cours » représente une conception de l'éducation dans laquelle l'enseignant, qui connaît, donne la connaissance aux élèves, qui ne connaissent pas, et qui sont supposés avoir rien pour y contribuer. Beaucoup d'auteurs qui ont examiné les séances de cours notent, que les enseignants ne sont pas indépendants des activités de lecture et d'écriture en classe de

science (Lemke, 2000; Moje, Collazo, Carillo et Marx, 2001; Rivard & Straw, 2000). Parpette (2002) évoque que le cours magistral à l'université a été qualifié d'orolographique dans la mesure où il met face à face un enseignant orateur et des étudiants scribes qui réagissent à la parole de l'enseignant non par la parole mais par la prise de notes. L'enseignant est le seul à prendre la parole. Les interventions des étudiants, quand elles existent, ne représentent que des parenthèses dans le déroulement de la séance et ne sont pas constitutives de l'organisation discursive du cours. La prise de notes des étudiants dans un cours est en quelque sorte la ligne d'horizon à partir de laquelle l'enseignant organise sa parole. Les répétitions, en revanche, « *délimitent clairement les notes qui vont naître sous la plume des étudiants, notes organisées, dirigées par la stratégie discursive de l'enseignant* » (Parpette, 2002). La répétition de la dictée est un moyen dans le cours qui aide et favorise à la prise de notes. Cette institutionnalisation de la prise de notes est le paramètre qui distingue fondamentalement le cours magistral d'autres discours monologiques, en particulier la conférence, et précisément des deux précédentes formes de débriefings que nous avons identifiés.

Le découpage thématique

Les productions discursives d'une classe (Filletaz, 2001) peuvent être divisées en unités, les thèmes, de l'ordre de la dizaine de minutes, ayant une cohérence du point de vue du savoir en jeu. (Tiberghien et al., 2007c, 2007a, Khanfour-Armalé et al. soumis).

En général l'ensemble des thèmes relatifs au savoir recouvrent presque la totalité de la séance mais il peut y avoir au début ou à la fin de la séance ou entre deux thèmes un temps consacré à l'organisation de la classe ou au traitement de questions qui ne sont pas en lien avec le contenu d'enseignement. Les thèmes sont divisés en "sous-thèmes". Les sous-thèmes sont des sous unités du thème qui recouvrent le thème, c'est à dire dont la juxtaposition reconstitue le thème. Nous essayons, autant que possible, de donner au thème et à ses différentes subdivisions des noms qui puissent refléter les concepts mis en jeu.

Questions de recherche

Dans l'optique d'étudier un aspect de la professionnalité enseignante, il s'agit de caractériser ce qui se passe pendant les débriefings observés pour comprendre s'ils ont les caractéristiques d'un cours. Ainsi la problématique se traduit par les questions suivantes :

Les connaissances mises en jeu dans les productions verbales de l'enseignant se trouvent-elles dans la fiche de TP ? L'enseignant répète-il les connaissances déjà mises en jeu comme lors d'un cours magistral?

Les connaissances ont-elles une structure thématique qui mène à l'écrit? Cette structure est-elle en rapport avec le TP ?

L'enseignant est-il l'orateur et les étudiants sont-ils des scripteurs ? Quelles sont les types d'interventions des élèves dans un tel débriefing ?

Pour répondre à ces questions nous avons suivi la méthodologie suivante.

Méthodologie

La méthodologie de collecte et d'analyse de données suit le développement général que nous avons présenté dans le chapitre 1. Nous allons préciser, dans ce qui suit, les points spécifiques utilisés dans ce chapitre.

Méthode de prise de données

Nous avons suivi une quarantaine de débriefings de chimie en Seconde (annexe 5 document 5), sur trois années, avec cinq enseignants différents, et deux fois seulement, nous avons vu un enseignement différent du corrigé et n'impliquant pas une fiche de synthèse.

Nous avons étudié les débriefings de deux séquences d'enseignement : une sur le taux d'avancement (TA) et le caractère total ou non des réactions chimiques en classe de Terminale et une sur l'enseignement de la classification périodique (CP) en classe de seconde. Ces deux séquences d'enseignement ont été présentées dans le chapitre 2. Nous résumons ci-dessous leur déroulement.

La séquence TA commence par une activité expérimentale de deux heures (voir annexe 1 document 1j), et sert d'introduction aux notions du taux d'avancement. Elle est suivie, dans une séance ultérieure, d'un débriefing. Les nouvelles connaissances découlent de l'introduction de la notion de pH et concernent : l'avancement maximal, l'avancement final, le taux d'avancement final, influence de la dilution et de la nature de l'acide sur le taux d'avancement.

La séquence CP consiste en une activité d'une heure et demie (voir annexe 1 document 1 e) et d'un débriefing filmé lors de la séance suivante. Les nouvelles connaissances découlent de l'utilisation de la classification périodique : notion de colonne (ou famille chimique), de ligne (ou période), de relation avec la réactivité, et la charge des ions.

Deux enseignants (pseudos H et C) volontaires ont été suivis pendant leur débriefing. Pendant les enregistrements vidéographiques dans les classes, une caméra placée au fond de la classe prend dans son champ l'enseignant (elle le suit quand il se déplace), le tableau et un bon nombre d'élèves vus de dos ou de biais. Une fois les séances enregistrées en classe, les bandes sont ensuite numérisées et compressées au format wmv à l'aide du logiciel Windows Movie Maker.

La suite présente la méthode d'analyse des données filmées.

Méthode d'analyses des données

Les vidéos des débriefings ont été transcrites (annexe 5 documents 5q et 5 v). Nous avons choisi de découper les transcriptions des productions verbales en échanges ternaires suivant la définition donnée dans notre cadre théorique du chapitre 1. Les échanges ternaires et les échanges enchâssés ont été repérés. Les interventions d'initiation, puis de réaction et enfin d'évaluation ont été catégorisées. Nous avons cherché à caractériser les interventions de l'enseignant en cherchant la longueur. Cette longueur a été déterminée, par commodité, en nombre de caractères de la transcription. Cette identification va permettre de comprendre le rôle de l'enseignant et des élèves (orateur, scripteurs) dans la discussion de classe.

Nous avons choisi d'identifier les connaissances mises en jeu par l'enseignant en termes de facettes suivant le cadre théorique du chapitre 1 (annexe 6 documents 6h et 6i). Ces dernières seront comparées à celles se trouvant dans la fiche de TP (nombre, complexité et relation entre les concepts) (annexe 6 documents 6h' et 6i'). Nous rappelons que les concepts sont ceux relevés du curriculum de la partie correspondante. Cette identification va permettre de trouver les facettes répétées ainsi que les facettes communes à la fiche de TP.

Afin d'analyser la structure et le défilement des connaissances mises en jeu lors du débriefing, nous avons mené une analyse thématique (annexe 9 documents 9d et 9e). Nous avons cherché à caractériser les thèmes qui sont repris, pour le débriefing, de la phase d'activité. Ceux de l'activité représentent les différentes parties du TP. Cette comparaison va permettre d'identifier l'emplacement des connaissances de l'activité dans la structure du débriefing, ainsi que la structure du débriefing.

Résultats

Les résultats concernent d'abord l'analyse didactique et puis l'analyse conversationnelle.

Analyse didactique

Les résultats de cette partie concernent d'abord l'identification des facettes de connaissances et puis la structuration des connaissances mises en jeu dans le débriefing.

Identification des facettes de connaissances

L'étude cognitive des deux débriefings nous a permis de constater que les facettes de connaissances étaient presque toutes dans les phases d'évaluation. Nous avons constaté que le débriefing de l'activité et la fiche de TP ne mettaient pas en jeu les mêmes facettes, ni le même nombre de facettes. Pour H lors de la séance TA par exemple, nous avons observé 66 facettes mises en jeu lors du débriefing de l'activité et seulement 8 facettes se trouvant dans

le texte de l'activité. Pour C lors de la séance CP, c'était 54 facettes lors de son débriefing et 10 facettes dans la fiche du TP.

Cas de l'activité TA

Nous avons comparé le nombre de facettes apparaissant dans les productions verbales de l'enseignant lors du débriefing aux facettes se trouvant dans la fiche de TP (annexe 6 document 6 h'). L'enseignant H a mis en jeu 66 facettes de connaissances dans la séance de débriefing, tandis que 8 facettes se trouvaient dans la fiche de TP. Seulement 4 facettes sont communes entre la fiche de TP et les productions verbales de l'enseignant lors de son débriefing. Ce qui peut s'expliquer par le fait que l'enseignant ajoute de nouvelles connaissances à celles se trouvant dans l'activité. 14 facettes ont été répétées 2 fois et 2 autres répétées 3 et 4 fois. Des caractéristiques du cours se trouvent dans ce débriefing : La répétition et les nouvelles connaissances.

Les facettes utilisées par l'enseignant apparaissent de même complexité que celles de la fiche de TP. Ils mettent en jeu le même nombre de concepts en relation. Ci-dessous le tableau 1 et le graphe correspondant montre, de gauche à droite, le nombre de facettes classés par le nombre de concepts en relation, figurant dans le débriefing et la fiche de TP.

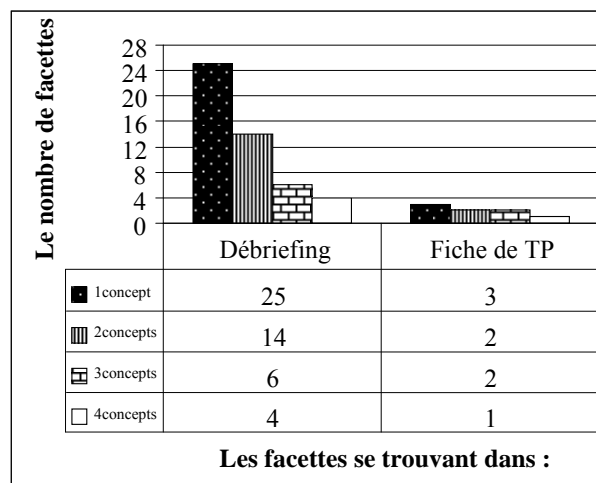


Tableau 1 Le nombre de concept en relation et le nombre de facettes se trouvant dans la séance TA.

L'enseignant H durant son débriefing met en jeu le plus grand nombre de facettes à 1 et 2 concepts sensibles en relation. Des facettes à 3 et même à 4 concepts sensibles en relation ont été identifiées aussi. Les facettes se trouvant dans la fiche de TP mettaient en jeu un nombre à peu près égal entre 1 et 3 concepts en relation. Nous avons remarqué que les facettes à 3 et 4 concepts en relation étaient des facettes se trouvant dans des phrases dictées aux élèves. Cette dictée forme une institutionnalisation de prise de notes pour l'élève. Ainsi

la complexité des facettes mises en jeu dans le discours oral de l'enseignant est moindre que dans le texte dictée. La différence quantitative peut être en rapport avec la différence entre une expression écrite et orale du même enseignant. Cette différence de complexité entre le discours oral et le texte écrit n'est certes pas surprenante puisqu'un texte écrit est forcément plus travaillé et aboutit donc à un nombre supérieur de concepts en relation (résultat obtenu pour les fiches de synthèse). La différence qualitative peut être en rapport avec l'activité expérimentale qui oriente le professeur vers l'utilisation de facettes à 1 concept sensible.

Les fréquences d'apparition de concepts sensibles mis en relation par l'enseignant diffèrent notablement des fréquences dans la fiche de TP. Le concept le plus convoqué par l'enseignant et dans la fiche de TP est celui du taux d'avancement final avec 11% dans les facettes de l'enseignant et 18 % dans la fiche de TP. Certains concepts ont été utilisés juste dans le débriefing mais pas dans la fiche de TP comme par exemple celui de la transformation chimique, 10% dans le Débriefing et 0% dans la fiche. D'autres ont été utilisés plus dans les fiches que dans le débriefing. Pour les concepts les moins utilisés, il en est de même, de nombreuses inversions apparaissent (Tableau.2).

Concepts	PH	Avancement final xfinal	Avancement maximal xmax	Taux d'avancement final	Transformation chimique
Débriefing	6	7	7	11	10
Fiche de TP	18	12	6	18	0

Concepts	Equation chimique	Etat d'équilibre	Choc efficace	Entités réactives	Entités produites	Acide	Réaction chimique
Débriefing	0	1	2	3	2	8	13
Fiche de TP	0	0	0	0	0	6	6

Concepts	Base	Couple	Solution aqueuse ionique	Concentration	Autres
Débriefing	5	2	8	9	5
Fiche de TP	0	0	12	24	0

Tableau 2 Pourcentage d'apparition des concepts sensibles dans les facettes de connaissances chez l'enseignant H dans le débriefing (1^{ère} ligne) et dans la fiche de TP (2^e ligne).

D'après le tableau 2, nous pouvons remarquer que le concept d'équation chimique concept se trouvant dans le curriculum, n'apparaissent nulle part dans cette séquence. Par ailleurs, nous remarquons divers concepts apparaissent seulement dans le débriefing comme « concept base » avec une fréquence de 5%, « concept couple » avec une fréquence de 2% etc. Cette apparition, dans les productions verbales lors du débriefing et non dans le texte du TP, vient du fait que c'est l'une des caractéristiques du cours, où l'enseignant introduit de nouveaux concepts objets de l'apprentissage dans le débriefing. En revanche, les concepts

« autre » (particule, tableau d'avancement et espèce chimique), qui ont été introduits lors des séquences antérieures ont été traitées lors de cette dernière séance. Il s'agit d'une observation intéressante sur la continuité du savoir de l'enseignant pendant un débriefing. Les nouvelles connaissances ainsi que les concepts objets de l'apprentissage apparus nous permettent de dire que la séance n'est pas une simple séance après l'activité expérimentale mais un lien avec la suite de la séquence d'enseignement.

L'identification des facettes, leur complexité ainsi que la fréquence d'apparition des concepts nous ont permis de trouver des caractéristiques du cours. Ces caractéristiques sont les suivants : la répétition, la dictée, l'introduction des nouveaux concepts objets de l'apprentissage ainsi que l'introduction de nouvelles connaissances.

Cas de l'activité TP

Nous avons comparé le nombre de facettes apparaissant dans les productions verbales de C lors du débriefing aux facettes se trouvant dans la fiche de TP (annexe 6 document 6i'). L'enseignant C a mis en jeu 54 facettes de connaissances dans la séance de débriefing, tandis que 10 facettes seulement se trouvaient dans la fiche de TP. Seulement 4 facettes communes ont été retrouvées entre la fiche de TP et les productions verbales de l'enseignant lors de son débriefing. De même l'enseignant C ajoute de nouvelles connaissances à celles se trouvant dans l'activité. 4 facettes ont été répétées 2 fois et 1 autre répétée 3 fois.

Les facettes utilisées par l'enseignant apparaissent plus complexe que celles de la fiche de TP (à part une seule facette mettant en jeu 5 concepts en relation). Il met en jeu plus de concepts en relation. Ci-dessous le tableau 3 et le graphe correspondant montre, de gauche à droite, le nombre de facettes classés par le nombre de concepts en relation, figurant dans le débriefing et la fiche de TP.

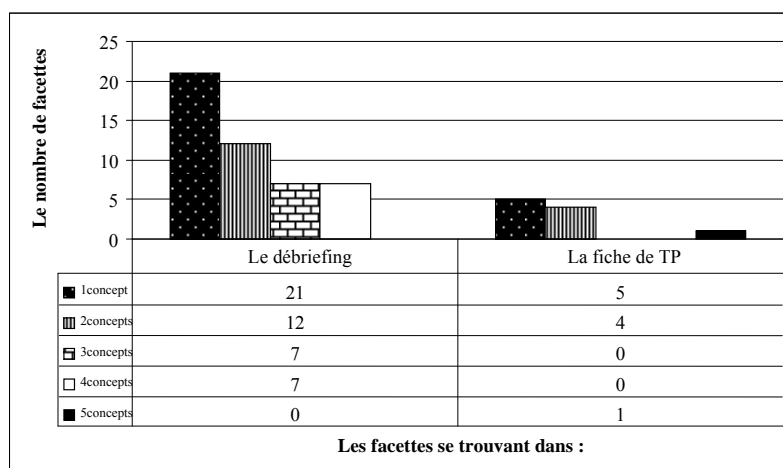


Tableau 3 Le nombre de concept en relation et le nombre de facettes se trouvant dans la séance CP.

L'enseignant C durant son débriefing met en jeu le plus grand nombre de facettes à 1 et 2 concepts sensibles en relation. Des facettes à 3 et même à 4 concepts sensibles en relation ont été identifiées. Les facettes se trouvant dans la fiche de TP mettaient en jeu à nombre à peu près égal entre 1 et 2 concepts en relation. Nous avons remarqué que les facettes à 3 et 4 concepts en relation étaient des facettes se trouvant dans des phrases dictées aux élèves. Ce résultat est identique à celui trouvé dans la séquence de TA.

Les fréquences d'apparition de concepts sensibles mis en relation par l'enseignant diffèrent notablement des fréquences dans la fiche de TP. Le concept le plus convoqué par l'enseignant et dans la fiche de TP est celui d'électron avec 7% dans les facettes de l'enseignant et 6 % dans la fiche de TP. Certains concepts ont été utilisés juste dans le débriefing mais pas la fiche de TP comme par exemple celui de l'élément chimique chez l'enseignant avec 17% et 0% dans la fiche de TP avec. Pour les concepts les moins utilisés, il en est de même, de nombreuses inversions apparaissent (Tableau.4).

Concepts	Eléments	Z	Electrons	Couche externe	Famille	Molécule	Charge	Ion
Débriefing	17	6	7	14	6	2	0	9
Fiche de TP	0	0	6	0	0	22	0	56

Concepts	Liaison	Colonne	Alcalin	Halogène	Gaz nobles	tableau périodique
Débriefing	0	14	1	10	6	7
Fiche de TP	0	0	0	17	0	0

Tableau 4 Pourcentage d'apparition des concepts sensibles dans les facettes de connaissances chez l'enseignant C dans le débriefing (1^{ère} ligne) et dans la fiche de TP (2^e ligne).

D'après le tableau 4, nous pouvons remarquer que les concepts charge et liaison concepts se trouvant dans le curriculum, n'apparaissent nulle part dans cette séquence. Par ailleurs, nous remarquons divers concepts comme couche externe avec une fréquence de 14%, colonne avec une fréquence de 14% etc. Cette apparition, dans les productions verbales lors du débriefing et non dans le texte du TP, vient de l'introduction des nouvelles connaissances. Il s'agit des observations intéressantes observées dans les deux débriefings cours. Ces observations concernent les caractéristiques du cours : la répétition, la dictée ainsi que l'introduction des nouvelles connaissances.

Nous pouvons conclure que l'introduction des nouvelles connaissances, la dictée et la répétition sont des activités retrouvés dans ces deux débriefings. Ces activités sont des caractéristiques d'un cours.

La continuité du savoir a été observée dans les autres types de débriefings. Elle est donc spécifique à la séance de débriefing, en générale, de l'activité.

La structuration des connaissances

Dans cette partie, nous nous sommes préoccupés de comprendre si les deux séances de débriefings observés ont une structure comme c'est le cas dans un cours transmissif ou magistral. Etant donné que cette séance est supposée être un débriefing, nous avons cherché à décrire la structure des connaissances mises en jeu lors du débriefing par rapport à celles se trouvant dans le TP. Cette structuration a été cherchée, à l'aide du défilement des thèmes de connaissances mise en jeu dans la séance de débriefing. Nous avons cherché à caractériser les thèmes qui sont repris, pour le débriefing, de la phase d'activité.

Nous avons constaté que les enseignants H et C ne reprenait pas les thèmes se trouvant sur la fiche de TP de la même façon. Par exemple pour H le défilement des thèmes de la séance était les mêmes que ceux de l'activité expérimentale et presque dans le même ordre. C prenait un certain nombre de thèmes de l'activité et les imbrique dans ceux de son débriefing. Le choix de l'activité expérimentale peut être un facteur de cette variabilité importante entre les deux enseignants. Une autre cause peut être le fait qu'un enseignant suit la structure du TP alors que l'autre non.

Cas de la séquence J'A

Le défilement des thèmes de connaissances dans le débriefing de H nous a permis de constater une structure qui est présentée dans la figure 1. Toutes les cases contenant les thèmes et les sous-thèmes se trouvant à gauche sont les connaissances dans l'ordre de l'activité expérimentale, tandis que ceux se trouvant dans les cases à droite sont ajoutées par l'enseignant au cours de la séance. Les flèches montrent le défilement de ces thèmes de connaissances et leur ordre d'apparition pendant la séance.

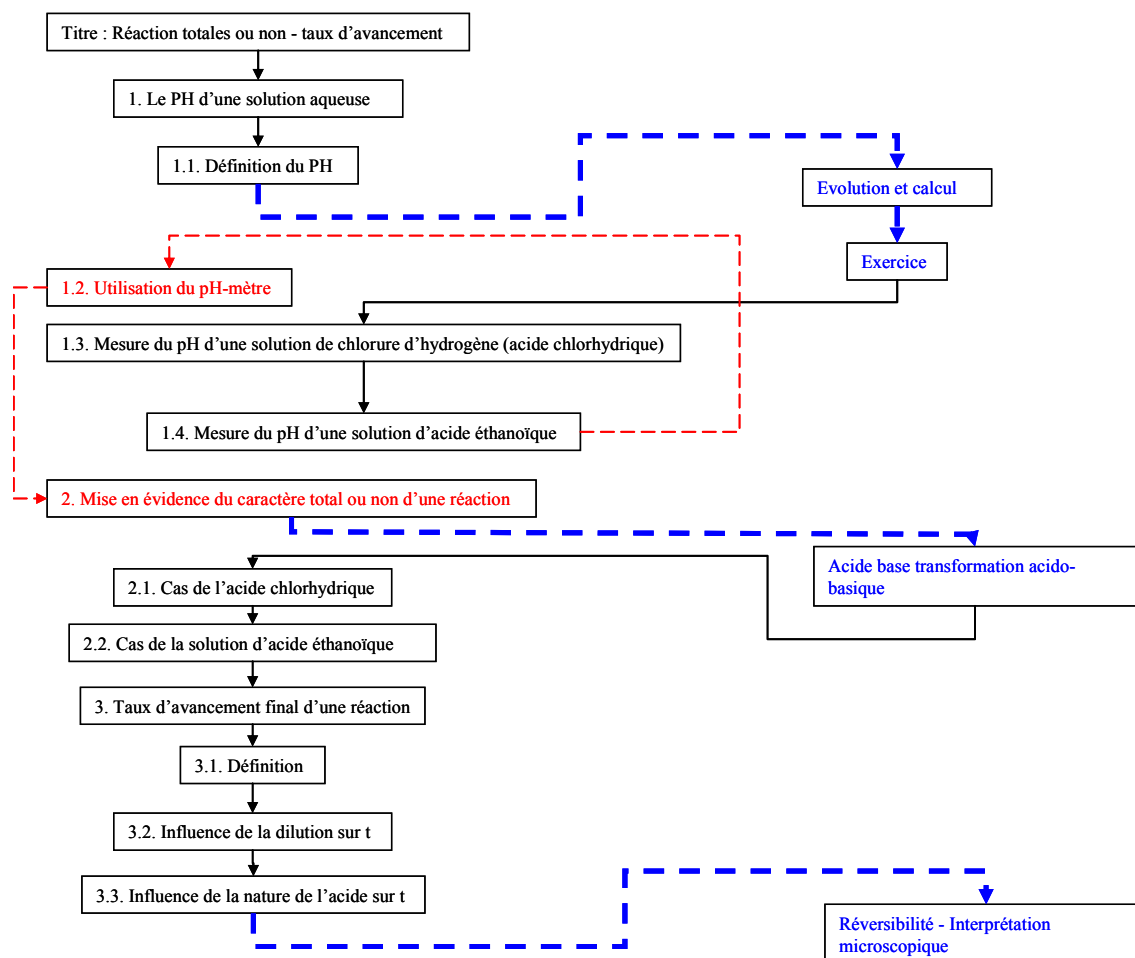


Figure 1 le défilement du débriefing-cours structuré et les additions.

Les thèmes de connaissances du débriefing (case à gauche) ont défilé dans le même ordre que ceux de l'activité expérimentale. Cette étude thématique nous montre que l'enseignant reprend la structure de l'activité expérimentale et fait quelques additions (les cases se trouvant à droite sur la figure 1). Ces additions portaient sur l'évolution et le calcul du pH, un rappel sur les transformations acido-basiques et l'interprétation microscopique. D'après cette figure (figure 1), nous remarquons que l'enseignant renverse l'ordre de quelques thèmes se trouvant dans l'activité (mesure du pH d'une solution de chlorure d'hydrogène, mesure du pH d'une solution d'acide éthanóique, utilisation du pH-mètre et puis finalement mise en évidence du caractère total ou non d'une réaction chimique).

Nous pouvons constater que l'activité expérimentale a servi de base à la structure du débriefing sur lequel l'enseignant a greffé des additifs. Ce cheminement des connaissances dans le même ordre de ceux du TP nous laisse croire d'une part que l'enseignant suppose que l'élève se souvienne du cheminement global de l'activité expérimentale, d'autre part qu'il y a une construction assez élaboré entre le TP et le débriefing.

L'étude thématique des connaissances a montré que divers thèmes ont été ajoutés à ceux du TP. L'évolution du pH, l'interprétation microscopique sont deux thèmes qui ont été ajoutés aux thèmes du TP. Ces deux thèmes n'étaient pas traités en TP parce que ce n'était pas le but de l'activité expérimentale. Dans la séance de débriefing, l'enseignant arrive à faire passer ses connaissances tout en utilisant la même structure de l'activité expérimentale.

Cas de la séquence CP

Le défilement des thèmes de connaissances dans la séance de CP nous a permis de constater une structure qui est présentée dans la figure 2. Cette structure diffère de celle observée avec H. Les thèmes traités lors du débriefing sont présentés dans les cases de gauche, tandis que les cases de droite représentent des exemples de l'activité expérimentale. Les flèches montrent le défilement de ces thèmes de connaissances et leur ordre d'apparition pendant la séance.

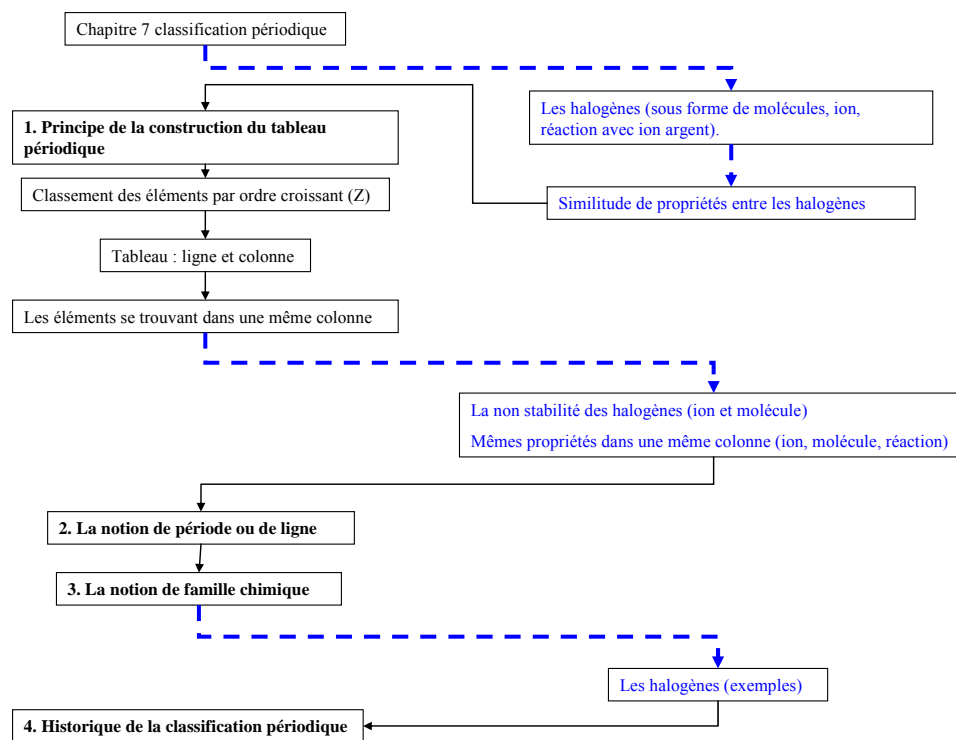


Figure 2 : le défilement du débriefing-cours structuré avec les additions et le lien avec le TP.

Nous pouvons constater que les thèmes de connaissances du débriefing (case à gauche) n'ont pas défilé dans le même ordre que ceux de l'activité expérimentale. Cette étude thématique nous montre que l'enseignant reprend des exemples de l'activité expérimentale. Cette reprise a été faite trois fois : au début pour rappeler le contexte de l'activité et durant la séance pour illustrer des exemples de l'activité. D'après cette figure (figure 2), nous remarquons que

l'enseignant a une structure pour son cours où il greffe les exemples du TP. En revanche, nous avons remarqué que ces exemples n'englobaient pas la totalité de l'activité expérimentale.

Pendant le TP les élèves ont découvert les différentes propriétés de la famille des halogènes. Le débriefing a traité de la classification périodique. L'étude thématique nous a montré que l'enseignant crée une structure et ne suit pas la structure du TP. Etant donné que l'activité expérimentale traite seulement de la notion de famille qui est un thème de la classification périodique. L'enseignant construit une structure pour son cours sur la classification périodique où il greffe des exemples du TP.

Nous sommes face à un type très différent du débriefing impliquant une fiche de synthèse et carrément différent du débriefing-corrigé. Cette différence se situe au niveau de la relation du débriefing avec le TP et au niveau de la structure du débriefing. Etant donné les caractéristiques trouvées ci-dessus (la répétition, les nouvelles connaissances etc.) et la structure, nous allons l'appeler débriefing-cours. Deux types de séances ont été filmés et deux types de structure de cours ont été observés. Nous n'avons pas assez de données pour généraliser cette observation mais nous pouvons émettre l'hypothèse que la structure du débriefing cours peut être de deux manières. Une première consistant en un cours qui suit la structure du TP illustrant un ensemble de points du curriculum avec des omissions et des additions. Une deuxième où le cours a une structure différente qui emprunte des exemples au TP illustrant un point de vue du curriculum.

L'analyse conversationnelle

L'analyse conversationnelle nous a permis de caractériser les interventions initiatives, réactives et évaluatives.

A part les épisodes d'ouverture des 2 séances de débriefings-cours structuré au cours desquels les enseignants prennent contact avec la classe et règlent quelques questions sans rapport avec le sujet scientifique du jour, et les épisodes de clôture qui ont consisté à donner du travail à faire à la maison et/ou à permettre la sortie des élèves, les deux séances de débriefings-cours structuré ont été constituées de 22 échanges ternaires et 28 échanges enchâssés pour la séance CP (durée de la séance : 44min 35s), 103 échanges ternaires et 68 échanges enchâssés pour la séance TA (durée de la séance : 1h 40min).

Nous remarquons que les échanges enchâssés occupent une place importante par rapport aux échanges ternaires dans le débriefing-cours. Ce n'était pas le cas dans les débriefings-corrigés. Cela peut s'expliquer par le fait que l'enseignant enchaîne des discussions avec ses élèves qui cherchent des clarifications sur les nouvelles connaissances introduites.

Nous avons constaté que ces échanges enchâssés apparaissent dans l'interaction suite à :

- 1- Une question d'élève : nous avons compté 22 échanges enchâssés dans la séance CP et 32 dans celle de TA suite à des questions d'élèves. Cette abondance d'échanges enchâssés peut s'expliquer par le fait que l'enseignant cherche des clarifications concernant les questions posées par les élèves afin de donner la réponse correspondante ou de transformer sa question en une question de contexte. Il est possible d'en savoir plus en lisant l'extrait de transcriptions se trouvant dans le tableau 6.

Prof : 18 électrons ben $18 + 2 = 20$ / 28 pour aller jusqu'à 35 il faut remplir
E : il y en a encore une (?)(cas 1)
 Prof : il y en a encore d'autres ah bien sure quand la couche elle est pleine on passe à la couche suivante
 N7 / oui
E : la couche N elle peut contenir combien d'électrons (?)

Tableau 6 Exemple d'échanges enchâssés : suite à une question d'élève.

- 2- Un calcul, un tableau, ou une énumération se trouvant dans une question. Nous avons compté 2 échanges enchâssés dans la séance CP et 4 dans celle de TA. Lors du remplissage d'un tableau ou l'enchaînement d'un calcul, l'élève met en jeu des connaissances, l'enseignant suite à cette réponse évoque une activité de formulation sans démarrer une nouvelle question. L'écriture d'une équation chimique, de la structure électronique d'un atome ou l'énumération des différentes verreries du mode opératoire peuvent enchaîner un échange enchâssé. Il est possible d'en savoir plus en lisant l'extrait de transcriptions se trouvant dans le tableau 7

Prof : [...] 9 ça fait quel structure électronique pour le fluor [il écrit au tableau] ça fait K2L7 alors on fait celui de la ligne suivante le chlore c'est Z=[le prof attends une réponse]
 E : 17
Prof : il est là 17 donc ça fait Aurélie (cas 2)
 E : K2L8 M7
 Prof : allez on va faire celui d'après le brome [il écrit au tableau]
 E : 35
 Prof : oui Z=35 ça fait K2L8M/ on a dit que la couche M pouvait contenir jusqu'à [le prof attends une réponse]
 E : 18 électrons

Tableau 7 Exemples d'échanges enchâssés : lors de l'énumération.

- 3- Une mauvaise réponse de la part de l'élève. Nous avons compté 4 échanges enchâssés dans la séance CP et 32 dans celle de TA. Le démarrage d'une discussion avec un élève guide l'enseignant à atteindre d'autres réponses en faisant à chaque fois un feedback (rétroaction) aidant l'élève à améliorer sa réponse et donner la bonne avant son évaluation. L'extrait de transcription se trouvant dans le tableau 8 nous montre un exemple d'échanges enchâssés suite à une mauvaise réponse de la part de l'élève.

P : [...] comment évolue le pH en fonction de la concentration en H_3O^+ /
 E : elle diminue
P : alors Neyla (cas 3)
 E : bah quand la concentration en H_3O^+ diminue le pH il diminue et quand la concentration (...?)
 P : donc tu dis donc petit 2 je le mets là quand la concentration en H_3O^+ diminue
 E : le pH augmente
 P : le pH augmente / d'accord ça veut dire sinon on peut dire / plus la solution a une concentration importante en H_3O^+ d'accord plus elle est acide une solution acide c'est un pH qui est grand ou petit /
 E : petit
 P : donc plus c'est acide ça veut dire plus ça diminue d'accord alors on vous disait maintenant dans le deuxième exercice à 25 degré pH égale 7 calculer la concentration en H_3O^+ donc qu'est ce qu'on va utiliser comme relation /

Tableau 7 Exemple d'un échange enchâssé suite à une mauvaise réponse de la part de l'élève.

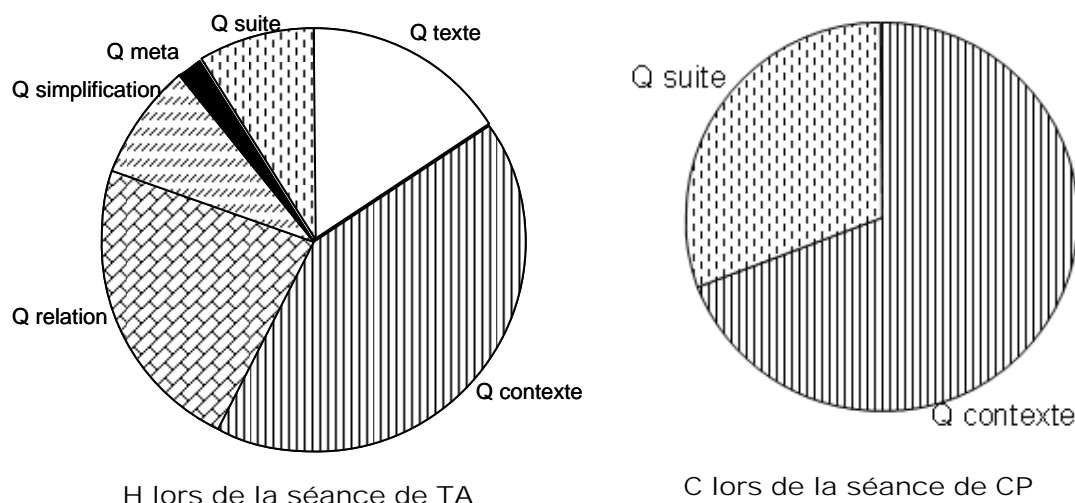
Nous constatons qu'un échange enchâssé peut être introduit par l'enseignant (calcul et suite à une mauvaise réponse) ou par l'élève (question d'élève). La majorité des échanges enchâssés (78%) étaient introduites par des questions d'élèves dans la séance CP tandis que 47 % étaient introduites par des questions d'élèves dans la séance TA. L'élève initie un grand nombre d'échange enchâssé par comparaison au débriefing-corrigé.

L'analyse conversationnelle nous a permis une observation intéressante concernant l'intervention de l'enseignant. Dans la même intervention, une partie de ces productions verbales n'étaient pas en lien ni avec son évaluation suite à la réponse de l'élève appartenant au précédent échange ternaire, ni avec la nouvelle question initiant le nouvel échange ternaire. Nous avons appelé « contre échange » cette rupture de l'échange ternaire. L'enseignant introduit alors des informations entre l'évaluation d'un échange ternaire et la question de l'échange suivant. Dans ces contres échanges, nous cessons d'être dans le mode conversation, mais nous nous retrouvons dans le mode professoral qui permet de donner de l'information d'une autre façon. Nous pouvons affirmer que c'est une des caractéristiques du débriefing-cours. Nous avons identifié 24 Blocs dans la séance TA et 15 dans celle de CP. Des exemples seront fournis dans la suite des résultats.

Les interventions initiant les échanges ternaires ont toujours été des questions des enseignants. Les sous-parties qui suivent donnent les résultats de l'analyse des catégories des questions de l'enseignant des interventions réactives des élèves et puis des évaluations de l'enseignant.

Catégorisation des questions

Nous rappelons que les questions posées ont été d'abord catégorisées en questions du texte (en blanc dans le graphe 3) de l'activité et questions hors texte (hachurées dans le graphe 3). Nous avons décompté 9 questions reprenant mot par mot le texte de l'activité, 45 questions hors texte et 6 questions de suite dans la séance TA. Par contre, dans la séance CP, juste 9 questions de contexte ont été posées par l'enseignant et 4 questions de suite.



Graphes 3 Les graphes représentant respectivement les différents types de questions posées par l'enseignant H lors de la séance TA (N=60) et l'enseignant C lors de la séance de CP (N=13)

Dans la séance de TA et dans les 45 questions hors texte que nous avons observé, notre catégorisation a donné 26 questions de contexte (43%), 1 question de niveau méta (2%), 5 questions de simplification (8%), et 13 qui établissent des relations (22%).

Cette catégorisation laisse 6 questions (10 %) n'ayant pas été catégorisées, et qui sont pour l'essentiel des questions de poursuite de la question précédente, par exemple : « et alors », ou « et puis » ou « t'es d'accord ». Les questions textes lues par l'enseignant, avec le texte de l'activité en main, constituent 15 % seulement des questions posées pendant la séance TA. Les questions hors textes sont majoritaires et en lien avec ce qui s'est passé pendant l'activité, ou avec ce que l'élève vienne d'en dire et des questions qui établissent des relations. Ce sont rarement des questions méta ou de simplification.

Une différence, concernant l'origine des questions posées par l'enseignant, est remarquée entre le débriefing-cours ayant la même structure de l'activité expérimentale et le débriefing-cours prenant des exemples de l'activité expérimentale. Nous n'avons pas assez de données mais une première cause peut être le style de l'enseignant et une deuxième peut être le type de l'activité expérimentale.

Les questions des élèves

Les interventions des élèves ont été catégorisées en réponses aux questions de l'enseignant et questions à l'enseignant. Nous avons décompté 54% de réponses et 46% de questions dans la séance de CP. Nous remarquons qu'il y a une grande proportion de questions de la part des élèves par comparaison avec le débriefing-corrigé où les questions ne comptaient que 4 % de la somme totale des interventions des élèves.

Les 54 % de réponses étaient distribuées de la façon suivante, 30 % étaient du type « donner des interprétations » de ce qu'il a fait, vu, perçu pendant l'activité. D'un autre côté, 10% des réponses étaient des réponses courtes interprétées par l'élève comme un choix à la question de l'enseignant. 4 % réponses où l'élève décrit une observation qu'il a faite, une couleur qu'il a vue, etc. lors de l'activité expérimentale. Par ailleurs, nous avons observé 7 % d'applications de formule et 3% où l'élève s'en sert d'une connaissance mémorisée.

Dans la séance TA nous avons décompté 75 % de réponses et 25% de questions. Nous remarquons de même qu'il y a une grande proportion de questions de la part des élèves. Les 75 % de réponses étaient distribuées de la façon suivante, 46 % étaient du type « donner des interprétations » de ce qu'il a fait, vu, perçu pendant l'activité. D'un autre côté, 11% des réponses étaient sur des manipulations d'objets lors du TP. 5 % des réponses courtes interprétées par l'élève comme un choix à la question de l'enseignant. 4 % des réponses où l'élève décrit une observation qu'il a faite, une couleur qu'il a vue, etc. lors de l'activité expérimentale. Par ailleurs, nous avons observé 7 % applications de formule.

Nous pouvons constater d'après cette analyse que les élèves posent beaucoup de questions à la différence des débriefings corrigés. La distribution des réponses, nous montre une grande partie des interprétations dans les réponses des élèves, c'était le cas dans nos débriefings corrigés. Une différence a été observée entre H et C au niveau des réponses traitant des manipulations d'objets. 11 % des réponses des élèves de H les évoquaient tandis que 0% ceux de C. Ce qui peut s'expliquer par la nature du lien entre le TP et le cours.

En comparant avec le débriefing-corrigé où les élèves posent peu de questions (1 ou 2 questions pour 50 interventions en moyenne), ils en posent beaucoup plus de questions dans le débriefing-cours. Dans le débriefing-corrigé le professeur cherche à solliciter les questions, tandis que le débriefing-cours introduisant des nouvelles connaissances attire l'attention des élèves ce qui se traduit par des questions. Ce résultat n'est pas en accord avec les cours au sens transmissif et cours magistral où les interventions des étudiants, quand elles existent, ne représentent que des parenthèses dans le déroulement de la séance et ne sont pas constitutives de l'organisation discursive du cours.

Les élèves manipulent les concepts objets de l'apprentissage lors du TP. L'introduction de ces concepts sous forme de nouvelles connaissances lors du débriefing les incite à poser des questions. Le débriefing-cours semble être un alternatif au cours transmissif se trouvant avant la réforme qui permet l'intervention des élèves.

Catégorisation des évaluations de l'enseignant

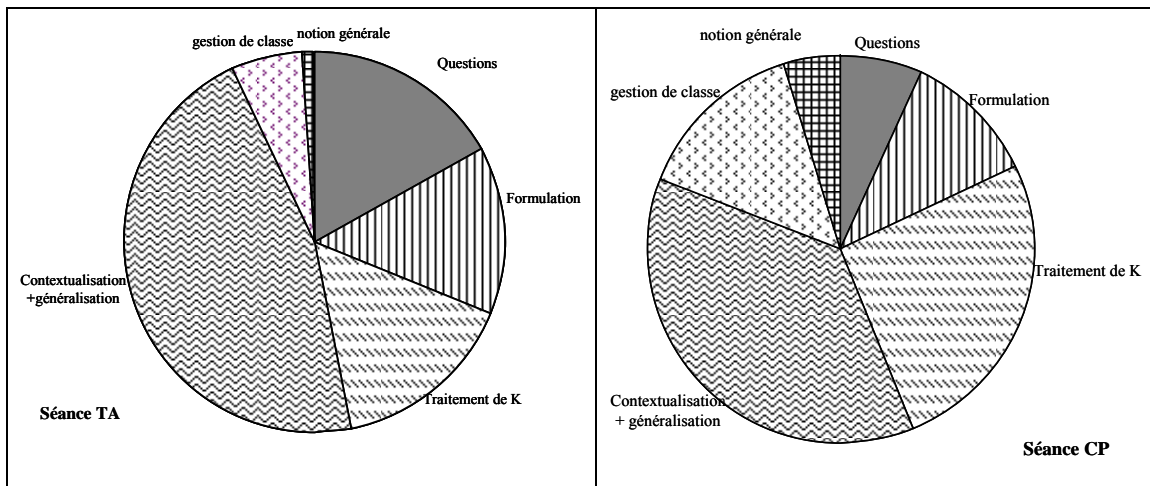
Nous rappelons qu'après la question de l'enseignant et l'intervention de l'élève, l'enseignant intervient par son évaluation. Nous avons cherché, à les regrouper dans les quatre catégories, suivant que l'enseignant intervient sur les termes de la réponse de l'élève (reformulation),

sur les connaissances mises en jeu par l'élève, ou sur le fait qu'il contextualise, ou qu'il généralise des éléments de la réponse. Rappelons de même que dans une évaluation donnée d'un enseignant, il peut se trouver plusieurs catégories. Dans la séquence TA, suite aux 217 interventions d'élèves, nous avons observé 313 actes d'évaluation en tout, catégorisés respectivement en 155 formulations (50%), 82 traitements de la connaissance (26%), 44 contextualisations (14%) et enfin 32 généralisations (10%). Dans la séquence CP, suite aux 70 interventions d'élèves, nous avons observé 92 actes d'évaluation en tout, catégorisés respectivement en 26 formulations (28%), 46 traitements de la connaissance (50%), 10 contextualisations (11%) et enfin 10 généralisations (11%).

Trois interventions ne rentraient pas dans nos catégories une dans la séance TA et deux dans celle de CP. Nous avons repérés ses interventions dans « les contres échanges ». Nous avons constaté lors de ces interventions que l'enseignant introduisait des connaissances générales qui ne se suivent et ne précèdent pas un contexte particulier, ce qui la différencie de la généralisation.

Nous avons constaté grâce à l'analyse par nombres de caractères que la part de l'intervention compté formulation occupe, beaucoup moins de place dans la vie de classe par rapport à une part d'intervention comptée en généralisation, contextualisation ou traitement de connaissance. Le graphe 4 ci-dessous représente les différentes interventions de l'enseignant en classe en fonction du nombre de caractères.

Nous pouvons remarquer d'après le graphe 4 l'importance donnée aux traitements de connaissance, contextualisations et généralisations dans les interventions des enseignants. Ce qui n'était pas le cas dans le débriefing type corrigé où la formulation occupe la grande part de l'évaluation de l'enseignant. Nous avons aussi constaté que la contextualisation et la généralisation se répartissaient souvent sur plusieurs échanges ternaires alors que les reformulations et le traitement de la connaissance étaient complétés dans un même échange ternaire.



Graph 4 Les deux graphes représentant respectivement les différentes interventions (questions et évaluations) des deux enseignants H et C lors des deux séances TA (373) et CP (92).

- Les formulations sont à rapprocher des questions texte et hors texte. Chaque question s'est traduite par une reformulation de la réponse de l'élève. Ces formulations se répartissent dans la séance TA en 105 répétitions de ce qu'a dit l'élève, 4 répétitions d'une partie seulement, 26 réelles reformulations (avec d'autres termes pour exprimer la même idée) et 20 récapitulations, tandis que dans séance CP nous avons trouvé 16 répétitions de ce qu'a dit l'élève, 2 réelles reformulations (avec d'autres termes pour exprimer la même idée) et 8 récapitulations. L'abondance des répétitions permet de s'assurer que toute la classe a bien entendu la réponse de l'élève.
- Dans la séance de TA, parmi les 82 traitements de la connaissance, l'enseignant a, par 44 fois, porté un jugement sur la connaissance, par 19 fois, utilisé la connaissance de l'élève pour justifier et faire le lien entre 2 connaissances et, 19 fois, ajouté des connaissances qui n'étaient pas dans la réponse. Tandis que dans la séance de CP, parmi les 46 traitements de la connaissance, l'enseignant a, par 25 fois, porté un jugement sur la connaissance, par 11 fois, utilisé la connaissance de l'élève pour justifier et faire le lien entre 2 connaissances et, 10 fois, ajouté des connaissances qui n'étaient pas dans la réponse.
- Enfin, nous avons observé respectivement dans la séance TA et dans la séance CP, 44 et 10 contextualisations et 32 et 10 généralisations qui constituent des moments importants de l'apprentissage, où la relation entre le champ expérimental et le modèle est centrale.

Le graph 4 montre l'importance donnée à la généralisation et la contextualisation dans l'évaluation de l'enseignant. Ils sont fondamentaux et forment l'une des bases en science, et à l'inverse du débriefing corrigé occupent une grande partie dans le discours de l'enseignant dans le cours. Le traitement de la connaissance occupe une partie du temps d'enseignement.

Notre analyse peut aider à comprendre ce sentiment des enseignants de faire un cours et d'organiser et structurer les nouvelles connaissances. En revanche le débriefing-cours n'est pas simplement une simple séance de cours mais un appui sur l'activité expérimentale à travers les contextualisations qui peuvent permettre par la suite les généralisations. Les différentes questions des élèves peuvent aider à les faire participer dans la discussion de classe.

Les contres échanges

L'abondance de contres échanges est une des caractéristiques des débriefings-cours. Nous avons constaté 24 contres échanges dans la séance de TA et 15 dans CP. Ces « contres échanges » n'étaient pas en lien ni avec l'évaluation de la précédente échange ternaire, ni avec la question du nouvel échange ternaire. Ils se trouvaient rarement (1-3) dans un débriefing corrigé tandis qu'ils sont assez souvent dans un débriefing cours structuré (15-24 Blocs). L'analyse par nombre de caractères nous a permis de montrer que même leur longueur augmente dans les débriefings cours structuré. Nous en avons trouvés un grand nombre de facettes de connaissances, 35 dans la séance TA et 34 dans celle de CP. Dans ce qui suit un exemple (voir tableau 8) de contre échange de l'enseignant C dans la séance CP.

T9 Prof : non enfin là tu confonds plusieurs choses / Elia tu t'installes rapidement s'il te plait le cours à commencer d'accord je ne veux pas vous entendre / quel était le titre du TP
T10 E : similitude
T11 Prof : similitude des propriétés dans la famille des
T12 E : halogènes
T13 Prof : halogènes / les halogènes alors justement il y a encore des gens qui bavardent ce ne sait pas encore ce bruit de fond Maude et Zoé / alors ils sont là les halogènes alors celui ci on ne l'a pas utilisé en TP l'élément chlore l'élément brome, l'élément iode d'accord / on a vu qu'ils pouvaient exister sous forme de molécules / Cl2 Br2 I2 on a vu aussi qu'il pouvait exister sous forme d'ion Cl- Br- I- d'accord on a fait une expérience / vous avez fait les expériences avec des / vous avez vu que les ions chlorure bromures et iodures réagissent avec les ions argent pour former chaque fois des précipités d'accord donc il y a une similitude de propriétés entre ces éléments qui sont situés dans la même colonne de ce tableau et on va voir que c'est un petit peu le principe de construction de ce tableau qui regroupe l'ensemble des éléments chimiques que nous connaissons / oui tu as une information pour les secondes 2 les premières ah non je ne sais pas /alors vous allez noter donc la première chose que vous allez noter la classification périodique des éléments /déjà on va définir ce que c'est la classification périodique des éléments donc / la classification périodique des éléments c'est quoi c'est un tableau / et qu'est ce qu'on trouve dans ce tableau (?)
T14 E : les éléments chimiques
T15 Prof : voilà tous les éléments chimiques que nous connaissons d'accord donc c'est un tableau contenant l'ensemble des éléments chimiques connus à l'heure actuelle / est un tableau contenant l'ensemble des éléments chimiques connus à l'heure actuelle alors il y en a combien à peu près alors sur ce tableau ça ne se voit pas très très bien dans votre livre ça se voit un petit peu mieux parce que ce tableau il est en deux parties vous avez je dirai le tableau principal et puis en dessous vous avez deux lignes qui font aussi partie du tableau mais qu'on a mis en dehors et il faut donc regarder ces deux lignes / alors vous allez peut être pas les compter un par un parce que si vous remarquez bien ils sont classés comment ils sont classés (?)

Tableau 8 Extrait de transcription de l'enseignant C lors de la séance CP montrant les contres échanges (les interventions d'initiation et d'évaluations de l'enseignant sont en gras).

Nous constatons d'après le tableau 8 que l'enseignant dans son premier contre échange contextualise des connaissances mises en jeu par les élèves lors de l'activité expérimentale (Cl, Br et I) et les généralise après (éléments appartenant à la même colonne). Il met en jeu des notions générales dans son deuxième contre échange. Ces notions traitent de la construction du tableau périodique se trouvant dans le tour de parole T 15.

Ces contres échanges servent à mettre en jeu des connaissances sous différentes formes. L'enseignant à travers ces contres échanges passe d'une discussion de classe à un mode professoral.

Remarques concluantes et implications pour l'enseignement

Le débriefing a consisté en un cours, au sens transmissif du terme, qui était basé à la fois sur les connaissances de l'activité et sur son contexte. Un débriefing est dit du type cours quand l'enseignant prend la main dans sa classe et quand la discussion n'est plus une simple conversation mais plutôt une présentation qui a une structure, et où les élèves partent avec une trace écrite.

L'approche linguistique et didactique des débriefings cours structuré a évoqué l'intérêt de cette pratique enseignante, et a montré ses avantages. La structure des débriefings, dans les séances observées, était en lien avec l'activité expérimentale à travers le cheminement des thèmes du TP. Les débriefings-cours que nous avons observés sont surtout des discussions de classe incorporant des contres échanges. Ce type de débriefing a été rarement observé. Cette forme intéressante de débriefing nous semble être un alternatif au cours transmissif qui facilite l'intervention des élèves dans la discussion.

Le cours a permis un déroulement structuré du texte du savoir. La relation entre ce cours et l'activité qui l'a précédée, et où ont été introduites les connaissances lors d'une démarche d'investigation, apparaît dans la structure du cours et dans les exemples qui nourrissent ce cours. Les professeurs ont traité les questions du texte de l'activité, et utilisé des questions hors texte. Le retour aux questions textes indique aux élèves que le travail qu'ils ont fourni est bien pris en compte (satisfaction du contrat).

Divers éléments différencient le débriefing-cours des autres types. L'écrit a joué un rôle important dans les séances de débriefing-cours. Cet écrit résulte des échanges verbaux ainsi que du discours entre l'enseignant et ses élèves en classe. C'est un élément essentiel dans le processus de l'apprentissage des élèves. Les répétitions des enseignants aidaient à la prise de notes organisées et dirigées par la stratégie discursive de l'enseignant. La génération des questions de la part des élèves était une marque de participation scientifique. Ces questions résultaient de l'introduction des nouvelles connaissances. Le débriefing-cours a permis

d'introduire de nouvelles connaissances qui ne sont pas observées dans un débriefing-corrigé. Ces connaissances se trouvent soit dans les évaluations, soit dans les contre échanges.

Nous avons constaté une grande hétérogénéité dans la structuration des connaissances dans les débriefings-cours observés. Pour que l'élève s'y retrouve, c'est-à-dire pour qu'il ne manque pas d'informations indispensables, il semble nécessaire qu'il puisse se référer à un texte du savoir rassemblant l'information d'un enseignement. Le 'bon vieux' cours avait ce rôle mais est déconseillé par les instructions officielles. Les enseignants semblent en trouver un alternatif à travers le débriefing-cours qui introduisent les nouvelles connaissances sous forme structurée et organisées tout en faisant le lien avec les connaissances mises en jeu par les élèves lors de l'activité expérimentale. Les phrases dictées aux élèves sont formulées dans un langage plus complexe que ce que l'enseignant prodiguait dans son discours. Ces débriefings-cours permettent à l'élève de conserver une trace écrite après un enseignement par activité.

Les débriefings d'activités qui interviennent sous la forme d'un cours sont donc des moments où l'enseignant revient sur ce que dit l'élève lors des évaluations des réponses des élèves, avec les nombreuses répétitions. Beaucoup de traitement de connaissance, de contextualisations et de généralisations sont mis en jeu. Il n'est donc pas surprenant que cette pratique motive les élèves à poser les questions, puisqu'ils écoutent beaucoup de nouveautés sur un sujet déjà travaillé en TP.

Nous avons observé à travers le débriefing-cours un type très différent du débriefing-fiche de synthèse et carrément différent du débriefing-corrigé. La structure du débriefing cours peut être de deux manières. Une première consistant en un cours qui suit la structure du TP illustrant un ensemble de points du curriculum avec des omissions et des additions. Une deuxième où le cours a une structure différente qui emprunte des exemples au TP illustrant un point de vue du curriculum.

Dans nos débriefings-cours, nous avons remarqué que les enseignants organisaient, structuraient, notaient, dictaient et répétaient les connaissances aux élèves afin qu'ils construisent une trace écrite.

Chapitre 8 La limite du débriefing

Introduction

Les travaux de recherche sur les pratiques enseignantes ont été en grande partie influencés par l'œuvre du sociologue Pierre Bourdieu (1980), « le sens pratique », qui a traité la question des pratiques dans une approche sociologique. Durand (1996), psychologue, définit la pratique en utilisant la théorie de l'activité. Robert et Rogalski (2002) évoquent par contre plusieurs composantes des pratiques enseignantes: les composantes : *cognitive, médiative, sociale, institutionnelle et personnelle*. D'autres chercheurs en science de l'éducation, comme Barbier (2000), définissent la pratique non pas comme une manière de faire d'une personne mais plutôt comme un processus de transformation d'une réalité en une autre réalité, requérant l'intervention d'un opérateur humain. Bru (1991 ; 2001) évoque le caractère organisationnel des pratiques. Sensevy et Mercier (2007) définissent la pratique en utilisant la notion d' "action didactique".

Les travaux de recherche ont évoqués divers caractères des pratiques enseignantes. Mais les recherches sur ces dernières impliquant les TICE n'ont pas émergées. Les pratiques des enseignants de sciences expérimentales sur l'utilisation de la simulation sont assez peu connues. Ils constituent pourtant un champ de recherches actif qui ne semble pas encore s'être focalisé sur l'usage de la simulation au moyen des TICE.

Nous nous sommes préoccupés dans cette partie de la thèse, de répondre aux questions des pratiques enseignantes dans le cas où l'enseignant utilise des simulations en chimie dans le cadre de l'étude de la réaction chimique. Nous avons décrit dans les chapitres 5, 6 et 7 le travail et l'activité de l'enseignant lors des différentes formes de débriefing de l'activité. Nous proposons dans ce chapitre d'aborder ce travail au moyen d'une étude de cas, au cours de laquelle l'un des enseignants, supposé faire un débriefing suite à l'activité simulée, intervient de telle façon que ce qui se passe n'est en fait pas un débriefing. Une telle analyse nous aidera donc à préciser les limites de ce qu'est et n'est pas un débriefing. Nous allons décrire l'introduction des concepts objets de l'apprentissage ainsi que le savoir dans les interventions de deux enseignants où le premier fait un NON-débriefing et le deuxième un débriefing-corrigé.

Histoire de la transformation chimique

La chimie peut être décrite comme la science de la transformation chimique et de l'étude de la relation entre structure et réactivité. L'étude de la réaction chimique est donc à la base

d'une discipline scientifique. Les premières transformations chimiques, comme les décrit Le Maréchal et al. (2008), sont celles qui ont permis de produire du bronze, puis du fer, moteur du développement militaire dès l'antiquité. La bibliothèque d'Alexandrie contenait la description de procédés chimiques décrivant la fabrication de produits aussi communs que le savon. Puis les connaissances sur la transformation chimique arrivèrent en Europe avec les invasions arabes du premier millénaire. Ce fut l'origine des alchimistes du Moyen-âge. Après viennent, les premières études théoriques et les nouveaux 'principes' (les éléments chimiques) avec Lavoisier puis la révolution industrielle en Angleterre, puis ailleurs en Europe, et puis une branche pure de chimie qui aura droit d'être citée dans les universités. La chimie devient dès lors une discipline de recherche et d'enseignement. L'enseignement de la transformation chimique peut donc être illustré d'exemples dans des domaines si variés qu'il n'y a pas d'étudiants dont les centres d'intérêt ne puissent être en relation avec cet aspect de la chimie (Le Maréchal et al. 2008).

Nous allons illustrer dans cette partie un exemple de l'enseignement de la transformation chimique en classe de Seconde. A ce niveau, l'enseignement du bilan de matière d'une réaction chimique est introduit à l'aide de la grandeur « avancement » proposée par le programme après la réforme. Dans ce chapitre de la thèse, nous présentons une recherche relative à une séance de débriefing après un TP sur la réaction chimique illustré par les TICE.

Réaction chimique et avancement

Le bilan de matière d'une réaction chimique occupe une place centrale dans l'enseignement de la chimie. Une telle activité pose de réels problèmes tant conceptuels qu'algorithmiques. En effet, les notions de stœchiométrie, de réactifs limitant et en excès, et de quantité de matière sont connues pour leurs difficultés propres d'apprentissage. Aussi, tous ces concepts réunis pour traiter de la réaction chimique imposent un véritable casse tête aux élèves et aux enseignants. Nombre d'entre eux élaborent des procédures pour digérer l'amertume des exercices de chimie. Ces procédures, plus ou moins bien justifiées, sont donc diversement acceptées des élèves.

L'avancement d'une réaction est défini en Seconde comme la quantité de matière d'un produit formé si ce dernier a un nombre stœchiométrique 1. Pour cela, nous utilisons ici la notion d'avancement d'une réaction chimique en restant conscient que l'élève pourra l'utiliser comme un outil plus que comme un concept dont il devra avoir la maîtrise. Ce concept intervient dans un tableau appelé tableau d'avancement que le programme normalise ainsi :

- ✗ la première ligne rappelle les réactifs et les produits mis en jeu ;
- ✗ la deuxième ligne décrit l'état initial ;

✗ la troisième ligne traduit l'état auquel on s'intéresse (état intermédiaire ou état final).

Celui-ci n'est rien d'autre qu'une procédure normalisée et justifiable de résolution des exercices de chimie liés au bilan des réactions.

La tâche simulée mise en jeu dans notre étude n'est pas dans l'esprit du programme. L'intérêt pédagogique est pourtant grand. Un tel travail offre la possibilité de donner un sens à la notion d'avancement à partir des éléments microscopiques avant son introduction sous l'aspect macroscopique. Ceci peut remédier à une difficulté qui semble résistante chez les élèves lors de l'établissement d'un lien entre les deux niveaux microscopique et macroscopique de la réaction. Cette difficulté a été constatée par plusieurs travaux comme ceux de Stavridou (1990), Savoy & Steeples (1994) ou Huddle & Pillay (1996). Laugier & Dumon (2000) ont montré que « lorsque les élèves sont face à une phénoménologie macroscopique et doivent imaginer une phénoménologie microscopique explicative, ils se heurtent à de nombreux obstacles ».

Les élèves ont mis en jeu la notion d'avancement à partir des éléments microscopiques dans l'activité expérimentale simulée. Nous nous sommes intéressés par l'utilisation de l'enseignant de cette notion dans la séance de débriefing. L'enseignant peut commencer la construction de cette notion à partir des éléments microscopiques avant leur introduction sous l'aspect macroscopique, dans ce cas il est en train de prolonger le TP. Il peut introduire directement cette notion directement au sens de la chimie sous son aspect macroscopique sans faire le lien avec les éléments microscopiques manipulés par les élèves. C'est ce qui va nous intéresser tout au long de ce chapitre de la thèse.

Le travail de l'enseignant

L'utilisation du simulateur permet une économie dans la gestion des connaissances mises en jeu par l'élève. En effet, l'animation peut être vue comme un micro-monde où des objets, d'ordinares non perceptibles comme les particules, sont rendus accessibles à l'observation. Ces objets simulés se comportent suivant les lois du modèle, celles-ci prenant plus simplement du sens que quand l'élève doit les conceptualiser à partir d'objets non perceptibles. Par exemple, voir une particule rose et une particule bleue devenir verte et orange respectivement au moment d'un choc donne à la notion de choc efficace plus de sens qu'un discours qui dirait que deux molécules se transforment lors d'un choc. En effet, dans un tel discours, l'élève doit utiliser sa représentation (peu fonctionnelle) des molécules, les imaginer en mouvement, se rencontrant, et donnant de nouvelles molécules.

A la suite de ce travail, pendant lequel les élèves ont été relativement autonomes, l'enseignant doit institutionnaliser les connaissances qui ont été mises en œuvre pendant la séance utilisant une activité simulée. C'est l'occasion de revenir sur l'ensemble des concepts liés à la réaction chimique : réactif, produit, état initial et final. C'est intéressant. Pour autant, ce n'est pas simple car il faut proposer aux élèves un débriefing qui s'appuie sur la

simulation, et non un, qui ne serait pas plus compréhensible que d'habitude s'il ne réutiliserait pas le modèle mental que les élèves ont construits grâce à l'animation.

Une possibilité est de distinguer les connaissances liées à la simulation de celles liées à la réaction chimique, puis de les mettre en relation. En particulier la grandeur avancement doit être distinguée dans les deux niveaux d'explications. Elle s'exprime en nombre de particules dans le cas de la simulation et en mole dans le cas de la réaction chimique. De même, il est possible de distinguer la notion de réactifs dans les deux cas. Les réactifs sont dans un cas caractérisés par une couleur, par leur mobilité, et par leur faculté à être impliqués dans des chocs efficaces. En revanche, les caractéristiques des composés chimiques, sont d'avoir une formule, un état physique (solide, liquide, gaz, en solution), une couleur éventuellement, mais avec un autre sens que la couleur des particules. De plus, les quantités de réactifs s'expriment différemment selon qu'il s'agit des réactifs simulés ou de véritables réactifs.

La distinction entre le micro-monde de la simulation (utilisant les notions de particule, de choc efficace avec changement de couleur, etc.) et celui non perceptible de la réaction chimique (utilisant les notions de quantité de matière, de réactif et de produit, etc.) doit être présente dans la tête de l'enseignant (voir le tableau 1), car ce sont deux ensembles de connaissances encore distinctes pour l'élève. L'enseignant doit distinguer ces connaissances de nature différente, en utilisant par exemple un tableau à deux colonnes comme ci-dessous, et puis les mettre en relation pour que l'élève soit capable ensuite de transférer ce qu'il a compris avec la simulation avec ce qu'il aura à utiliser avec la réaction chimique.

notions	caractéristiques liées à la simulation (ce que l'élève a vu avec le micro-monde de la simulation)	caractéristiques liées à la réaction chimique (ce que l'élève doit apprendre)
réactif	particule couleur se déplace dans la fenêtre se choque contre les parois et les autres particules disparaît lors d'un choc efficace	c'est une espèce chimique ou un ion possède une formule a été pesé ou pipeté, introduit dans le récipient on verra en cinétique chimique ce qu'il en est du déplacement et des chocs
produit	est d'une couleur différente des réactifs se forme lors d'un choc efficace se déplace et se choque comme les réactifs	c'est une espèce chimique ou un ion possède une formule se forme au fur et à mesure pendant la réaction
quantités	les quantités de réactifs et de produit s'expriment en nombre de particules la quantité de réactif diminue pendant l'animation la quantité de produit augmente	les quantités de réactifs et de produits s'expriment en mole (quantité de matière). La quantité de matière de réactif diminue pendant la réaction La quantité de matière de produit augmente
avancement	On le définit comme le nombre de particules de produit formé (C ou D) Il augmente pendant l'animation Il vaut 0 initialement et tend vers une valeur maximale Il apparaît avec un signe moins dans l'expression des réactifs, dans le tableau d'avancement, et avec un signe plus dans l'expression des produits. Ces signes sont en relation avec le fait que le nombre de	On le définit comme la quantité de matière de produit formé, pour peu que le produit en question apparaisse avec un nombre stœchiométrique 1 dans l'équation chimique. Il augmente pendant la réaction Il vaut 0 mol initialement et tend vers une valeur maximale, par exemple 0,15 mol. Il apparaît avec un signe moins dans l'expression des réactifs, dans le tableau d'avancement, et avec un signe plus dans

	particule de réactif diminue et que celui de produit augmente.	l'expression des produits. Ces signes sont en relation avec le fait que la quantité de matière de réactif diminue et que celle de produit augmente.
Système chimique	C'est le contenu de la fenêtre d'animation Il est constitué des 4 sortes de particules	C'est le contenu du récipient dans lequel la réaction est réalisée. Il est constitué des réactifs, des produits, du solvant, et parfois d'autres espèces chimiques nécessaires au bon déroulement de la réaction.
Réactif limitant, réactif en excès	Le réactif limitant est celui qui disparaît totalement à l'état final. C'est celui pour lequel il y a initialement le plus petit nombre de particule Le réactif en excès est celui pour lequel il reste au moins 1 particule à l'état final. C'est celui pour lequel il y a initialement le plus grand nombre de particules.	Le réactif limitant est celui qui disparaît totalement à l'état final. Le réactif en excès est celui pour lequel il reste au moins 1 particule à l'état final. Si l'équation chimique possède des nombres stœchiométriques différents de 1 parmi les réactifs, il n'est pas aisé de déterminer le réactif limitant ou en excès sans faire de calculs dans le tableau d'avancement.

Tableau 1 La distinction entre le micro-monde de la simulation et celui non perceptible de la réaction

Les conditions d'un débriefing

Dans une séquence d'enseignement commençant par une activité expérimentale au cours de laquelle l'enseignant parle peu, l'élève, relativement autonome, a la charge de la manipulation du savoir. Le moment du débriefing est donc caractérisé par le fait que l'enseignant reprend la responsabilité de la mise en jeu des connaissances, en relation avec l'activité. Cette relation doit respecter *simultanément* deux conditions :

- ✗ les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage dans l'activité doivent se retrouver dans le débriefing, de même que
- ✗ le contexte dans lequel l'activité a été conçue pour la mise en œuvre de ces connaissances.

La mise en jeu par l'enseignant des connaissances objets de l'apprentissage se trouvant dans l'activité est très important dans le processus de l'enseignement étant donné que *"la reprise d'un élément de savoir nouvellement introduit peut favoriser son apprentissage"* (Tiberghien et Malkoun (2007)). Tiberghien & al. 2007 a et b évoque à ce propos la « continuité » du savoir. Cette notion de continuité introduite est la prise en compte de la réutilisation d'un élément de savoir au cours de l'enseignement: La continuité est exprimée, de façon générale, par le taux de réutilisations des éléments de savoir par rapport aux introductions. Nous allons évoquer cette continuité à travers les facettes de connaissances.

La mise en œuvre des connaissances objets de l'apprentissage doit être conçue dans le même contexte de l'activité. Nous rapprochons l'idée de contexte au « milieu » de l'élève, dans

l'activité expérimentale, notion évoquée par Brousseau (1998). En effet le milieu est un ensemble de conditions matérielles, de situations ou de problèmes qui justifient la mise en œuvre conjointe (Brousseau, 2000). Autrement dit le milieu est tout ce qui agit sur l'élève ou / et ce sur quoi l'élève agit (Brousseau, 2003). Durant le TP, l'élève en interagissant avec son binôme agit sur l'activité simulée à travers l'ordinateur. Ce qui constitue les conditions matérielles. Divers connaissances ont été évoquées dans une situation particulière (à partir des éléments microscopiques) lors de cette tâche simulée. La séance de classe est considérée comme un débriefing, si l'enseignant met en jeu les connaissances dans le même contexte qui a été prévu pour l'activité. Tandis que s'il les met en jeu dans un contexte différent, nous considérons qu'il est en train de faire une séance de classe qui n'est pas un débriefing.

Questions de recherche

Il s'agit de caractériser les conditions d'un débriefing du point de vue des connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage et du contexte de l'activité expérimentale. La question que nous nous posons est de décrire les limites d'un débriefing qui cessera d'être en relation avec le TP ?

Nous utiliserons la décomposition du savoir en facettes de connaissances afin de trouver comment le savoir est manipulé pendant le TP et le débriefing. L'activité du locuteur, pendant que du savoir est en jeu, sera alors déterminé. La recherche se traduit par la question suivante : comment les connaissances objets de l'apprentissage sont-elles mises en jeu par l'enseignant dans la séance de débriefing et sont-elles reprises de l'activité expérimentale ?

En ce qui concerne le contexte de l'activité simulée, nous faisons l'hypothèse qu'il s'agit d'un certain nombre de concepts liés à cette situation, et nous souhaitons déterminer l'écart de leur utilisation par l'enseignant dans la séance de débriefing à cette structure de base. La question est ainsi : ces concepts sont-ils utilisés par l'enseignant dans le même contexte de l'activité expérimentale ?

Pour répondre à ces questions, nous avons suivi la méthodologie suivante.

Méthodologie

La méthode de recherche présentée dans cette partie est conforme à la méthode générale décrite au chapitre 1. Nous précisons que le recueil des données a été effectué avec deux enseignants « H » et « M » en classe de Seconde en 2006. Pour la présente étude, les données relatives à ces enseignants ont été filmées pendant la même situation (même tâche simulée). Afin d'étudier la pratique de deux enseignants en classe de TICE et comparer les connaissances mises en jeu dans leurs interventions, nous nous sommes disposés du même couple tâche/simulateur de la réaction chimique (voir la fiche de TP annexe 1 document 1 i).

Les transcriptions de leurs interactions avec les élèves dans la séance de débriefing (annexe 5 document 5 t et 5 u) ont permis d'identifier les facettes de connaissances que ces deux enseignants mettaient en œuvre pour les comparer. La vidéo a permis de suivre ce que les enseignants faisaient en classe.

Nous avons remarqué dans le texte de l'activité la présence d'un certain nombre de concepts lié à la simulation. Etant donné que nous cherchons à caractériser le lien entre la tâche simulée et le débriefing, nous avons relevé ces concepts. Par ailleurs nous allons identifier les facettes de connaissances (annexe 6 document 6g) selon leur appartenance aux catégories de concepts se trouvant dans le curriculum et ceux spécifiques à la tâche simulée. Cette identification nous permet de comparer la mise en jeu des connaissances par les deux enseignants lors de leur débriefing qui peut s'appuyer ou non sur la simulation.

Nous allons nous intéresser à l'utilisation des concepts figurant dans la fiche de l'activité expérimentale. Pour cela ces concepts ont été identifiés et nous avons recherché le moment de leur introduction lors de la séance de débriefing, par l'élève ou l'enseignant. Nous avons cherché à identifier si leur introduction par l'enseignant est dans le même contexte de l'activité ou dans un autre contexte.

La présentation de la tâche

Le simulateur utilisé et la tâche qui l'accompagne ont été décrits au chapitre 2 de la thèse d'El Bilani (2007) puisqu'elle s'en est servie pour étudier l'apprentissage des élèves de la classe de seconde de la notion de l'avancement de réaction sur le simulateur. Nous rappelons que le simulateur fait partie de l'ensemble des réalisations du projet Micromega® (Le Maréchal & Robinault, 2006). Un de ses objectifs est de donner une interprétation au niveau microscopique de la réaction chimique.

La séquence d'enseignement proposée, décrite au chapitre 2, constitue une approche originale de l'introduction de la notion de réaction chimique. Différents aspects y sont abordés : la modélisation, la représentation microscopique à l'aide d'un simulateur et le bilan de matière à l'aide du tableau d'avancement. L'idée était de faire précéder l'établissement du bilan entre l'avant et l'après réaction au moyen d'un raisonnement macroscopique, par l'utilisation d'un processus pendant la réaction au moyen d'un modèle microscopique. (El Bilani 2007, Le Maréchal *et al.* 2008).

Cette tâche (annexe 1 document 1i) est organisée suivant trois grandes parties. La première laisse un peu de temps aux élèves pour observer l'animation sans que de véritables enjeux conceptuels délicats soient abordés. En seconde partie, la notion de tableau d'avancement est introduite. Pour finir, la troisième partie présente un exercice permettant de réinvestir les concepts acquis sans le monde de simulation.

Toute une série de connaissances dans le monde non perceptible sont remplacées par quelques images dans un monde simulé, ce qui conduit à une économie cognitive favorisant l'apprentissage.

Nous nous intéressons au débriefing de cette séance au cours de laquelle les deux enseignants passent en revue les principales conditions matérielles du travail et de la simulation, revoient des notions utilisées lors de la simulation et en profitent pour revenir sur quelques définitions importantes, et relier la transformation chimique, l'état initial et l'état final.

Résultats

Identification des facettes de connaissances

La méthodologie que nous avons adoptée, pendant notre analyse de l'activité des enseignants au cours de la séance de débriefing, nous a permis de mettre en évidence leur enseignement en termes de facettes. La décomposition du savoir en facettes de connaissances nous a permis de comparer les connaissances mises en jeu par les deux enseignants. La comparaison de leur fonctionnement sur les mêmes tâches nous a permis, d'une part, de caractériser beaucoup de facettes supplémentaires chez les deux enseignants et d'autre part, de cerner la différence entre les facettes des connaissances ressenties avec les deux séances. Nous rappelons que les concepts sont ceux se trouvant dans le curriculum et ceux spécifiques à la tâche simulée.

Cette étude cognitive nous a permis de constater que M et H ne mettaient pas en jeu les mêmes facettes, ni le même nombre de facettes de connaissances. Pour M par exemple, nous avons observé 17 facettes différentes mises en jeu dont 2 ont été répétées tandis que H manipulait 28 facettes différentes dont 2 ont été répétées. Seulement 4 facettes ont été trouvées dans les productions verbales des deux enseignants. La fiche de TP mettait en jeu 3 facettes de connaissances dont 2 ont été mises en jeu par M lors de la séance. Ce qui fait un nombre total de 42 facettes différentes sur l'enseignement de l'avancement avec un simulateur.

L'abondance de facettes retrouvées dans les deux débriefings semble être lié au fait que ces activités mettent en jeu une tâche simulée qui gère les connaissances sous forme microscopiques définissant et utilisant un grand nombre de concepts.

La séance d'enseignement suivant la tâche simulée a été différente pour les deux enseignants M et H que nous avons observés et décrits précédemment. M a mis en jeu plus de facettes que H. Nous n'avons pas assez de données pour déterminer cette variabilité importante, mais certains paramètres comme le temps que l'enseignant peut consacrer à son débriefing, peut

être un facteur. Peut être aussi que l'enseignant a exploré d'autres pistes de réflexion en envisageant un certain nombre d'informations et des connaissances qui dépassent l'activité.

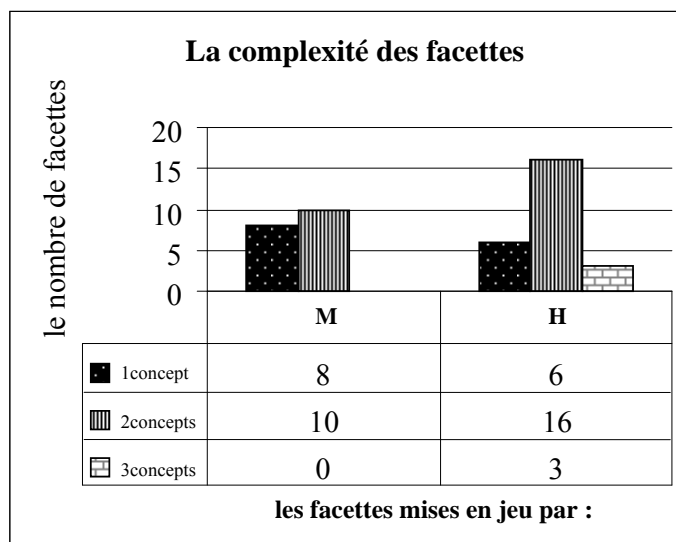


Tableau 2 Le nombre de concept en relation et le nombre de facettes se trouvant dans la séance AC.

Les facettes utilisées par les enseignants apparaissent de même niveau de complexité à part les 3 facettes mettant en jeu 3 concepts en relation avec H (tableau 2). Les facettes faisant intervenir un ou deux concepts sont de loin les plus abondantes. Ce qui s'explique par le fait que l'enseignant cherche à faire construire avec ses élèves du savoir suite à une activité expérimentale simulée, donc progresse avec eux « avec précaution » (El Bilani, 2007). Nous trouvons des facettes à 1 et 2 concepts sensibles qui sont les plus faciles à formuler (tableau 3).

Nous avons remarqué, que les facettes mettant en jeu les concepts particule et choc sont les facettes utilisées par l'enseignant M. Les facettes mettant en jeu les concepts d'espèce chimique et quantité de matière sont les facettes utilisées par l'enseignant H. Nous pouvons remarquer que l'enseignant M évoque les concepts en lien avec la tâche simulée tandis que l'enseignant H évoque les concepts du monde simulé.

	Choc	Particule	état initial	état final	transformation chimique	espèce chimique	élément chimique	avancement
M	15	22	7	4	4	4	0	15
H	4	2	8	14	27	16	6	14

	quantité de matière	nombres de particules
M	22	7
H	8	2

Tableau 3 Pourcentage d'apparition des concepts sensibles dans les facettes de connaissances chez les enseignants M (1^{ère} ligne) et H (2^e ligne).

Les fréquences d'apparition des concepts mis en relation par les enseignants, au sein des facettes, diffèrent notablement (voir tableau 3). Le concept le plus convoqué par les deux enseignants est celui d'avancement avec une fréquence de 15 % pour M et 14 % pour H. Les concepts les plus mis en jeu par M (voir tableau 3) sont ceux de particule, de quantité de matière puis après viennent celui du concept de choc. Le concept le plus convoqué par l'enseignant H (voir tableau 3) est celui de la transformation chimique puis après viennent ceux de l'espèce chimique et de l'état final.

Cette catégorisation de fréquence d'apparition de concepts nous permet de constater que l'enseignant M met en jeu plus que l'enseignant H les concepts en rapport avec la simulation. C'est un premier résultat qui peut s'expliquer par le fait que l'enseignant H commence la construction de la notion d'avancement à partir des éléments microscopiques (choc, particule), il est en train de prolonger le TP. En revanche l'enseignant H commence directement par cette notion au sens de la chimie sous son aspect macroscopique.

Nous avons compté les facettes mettant en jeu les concepts propres à la tâche simulée : choc, particule et nombre de particules. Par exemple « *le choc efficace cause un changement de couleur quand une particule bleue rencontre une particule rose* ». Nous avons constaté que l'enseignant M manipulait 11 facettes de connaissances, tandis que H mettait en jeu seulement 4.

Nous pouvons remarquer que l'enseignant M met en jeu 2 facettes parmi 3 se trouvant dans la fiche de TP, manipulait un grand nombre de facettes (11 facettes) de connaissances mettant en relation assez souvent les concepts propres à la simulation. En revanche l'enseignant H évoquait exceptionnellement les concepts propres à la simulation et mettait en jeu un petit nombre de facettes de connaissances liés à la tâche. Nous pouvons conclure que les connaissances objets de l'apprentissage se trouvaient dans la séance des enseignants mais pas de la même façon. L'introduction de ces concepts va permettre de clarifier leur lien avec l'activité simulée.

L'introduction des concepts

L'identification des concepts et leur introduction lors de la séance de débriefing, nous a permis de constater une différence entre le deux enseignants d'une part au niveau de leur lien avec la simulation et d'autre part au niveau de leur introduction par l'enseignant ou par les élèves.

Divers concepts figurent dans la fiche de TP : particule, choc, quantité de matière, réactif, produit, état initial, état final, transformation chimique, espèces chimiques, avancement, réactif en défaut, réactif en excès, quantité de matière, élément chimique, molécule et conditions stoechiométriques.

Parmi ces concepts, 8 ont été mis en jeu lors du débriefing des deux enseignants, tandis que 5 se trouvaient seulement dans l'une ou l'autre des deux séances. Parmi ces 5 concepts, deux ont été mis en jeu dans le débriefing de M: réactif limitant et conditions stoechiométriques tandis que les trois autres : produit, espèce et élément chimique se trouvaient dans le débriefing de H. Tous les concepts ont été introduits par l'enseignant M alors que 6 concepts ont été introduits par l'enseignant H et 5 par ses élèves.

Nous avons constaté aussi que tous les concepts dans les deux séances ont été introduits sous l'aspect macroscopique, seulement 3 concepts et avec l'enseignant M ont été introduits à partir des éléments microscopiques avant leur introduction sous l'aspect macroscopique. Ces concepts sont liés à la tâche simulée et sont les suivants : particule, choc et quantité de matière. Dans ce qui suit nous allons montrer à travers les extraits de transcription la différence de l'introduction des ces concepts par les deux enseignants.

Lors de la séance de débriefing, l'enseignant M a commencé par reprendre la situation expérimentale avant d'introduire la notion d'avancement. Dans la discussion de classe qui précède cette introduction, nous avons constaté que l'enseignant fait intervenir les particules en tant qu'objet. Il évoque leur déplacement, leur rebondissement : *«elles rebondissaient non mais ce n'est pas la notion de choc elles se déplaçaient en ligne droite»*. De plus, cette évocation est en relation avec le choc efficace : *« qu'il y avait un changement de couleur quand une particule bleue rencontrait une particule rose au niveau du choc efficace»*.

En revanche, les connaissances impliquées : choc efficace et particule, ont profondément différées entre les enseignants. L'enseignant M a fait intervenir ces notions avec les caractéristiques liées à la simulation avant de les lier à la réaction chimique. H se limite à répéter le concept de particule et de choc après leur introduction par les élèves. Il en parle après d'espèces chimiques sans faire le lien avec ce que l'élève a vu dans la tâche simulée.

L'extrait de transcription se trouvant dans le tableau 3 permet de nous montrer la non réussite de l'enseignant H à faire la distinction entre le micro-monde de la simulation et le monde non perceptible liés à la réaction chimique (ce que l'élève doit apprendre).

T41 Prof : on dira ici que les éléments chimiques/ que les éléments chimiques se conservent donc ce qui changent c'est les espèces chimiques / alors qu'est ce qu'on peut dire par rapport aux espèces chimiques entre l'état initial et l'état final / alors toutes les espèces chimiques qui sont présentes celle qui restent et celle non apparues / donc là on a décrit la transformation alors qu'est ce qu'on a fait comme étape / on a fait une description du tableau ou on va utiliser une autre méthode

Tableau 3 Extrait de la transcription de l'enseignant H

Dans cet extrait, nous pouvons remarquer que l'enseignant fait une distinction entre éléments chimiques et espèces chimiques pourtant les élèves lors du TP n'ont pas manipulés des espèces chimiques, ni par la suite conservés des éléments chimiques. Cette distinction entre élément chimique et espèce chimique n'existait pas, il n'était question que de particules dans la tâche simulée.

Nous présentons un autre exemple où l'enseignant M fait intervenir la notion de quantité de matière avec les caractéristiques liées à la simulation avant de les lier à la réaction chimique. Cette notion est par contre présentée par H sous son aspect macroscopique sans faire le lien avec ce que l'élève a vu dans le monde simulé.

L'enseignant M distingue bien le niveau microscopique vu dans le simulateur lors du TP et le niveau macroscopique. En ce sens, il gère la différence entre nombre de particules et quantité de matière. Il est possible d'en savoir plus en lisant l'extrait de transcription suivant : *« je voudrais reprendre parce qu'évidemment le simulateur il avait pour but de vous montrer ce qui se passait au niveau microscopique on a été examiné les particules mais nous évidemment ce qui va nous servir après ça va être avec des quantités des matières quand on passe aux quantités de matière on va dire qu'on passe au niveau macroscopique »*. L'enseignant H semble ne pas réussir à introduire le concept de quantité de matière à partir des éléments microscopiques mais l'introduit directement sous l'aspect macroscopique. Il est possible d'en savoir plus en lisant l'extrait de transcription ci dessous se trouvant dans le tableau 4

Dans cet extrait (tableau 4), l'élève répondait d'une façon complètement cohérente « nombre de particules » à la question de l'enseignant « c'est quoi un avancement. En effet l'élève a manipulé, à travers la simulation, des particules, donc bien évidemment pour lui l'avancement c'est le nombre de particules. Nous pouvons remarquer que l'élève a construit un certain modèle propre à son point de vue. L'enseignant dans ce qui suit cherchait l'unité de l'avancement ce qui n'est pas cohérent avec les connaissances mises en jeu lors du TP, ni avec le modèle construit par l'élève. Si l'avancement est le nombre de particules, alors son unité n'est pas la mole. L'enseignant est dans la situation de l'enseignement de la réaction chimique et n'arrive pas à gérer sa différence avec le simulateur. Il fait un enseignement sur la réaction chimique mais pas dans le même contexte de l'activité expérimentale.

T57 Prof : alors avancement c'est quoi l'avancement ?
T58 E : nombre de particules
T59 Prof : nombre de particules comment on le notait / il a quelle unité
T60 E : il n'y en a pas
T61 Prof : si
T62 E : en mol
T63 Prof : en mol d'accord / l'avancement x qu'est ce que ça représente (?)

Tableau 4 Extrait de la transcription de l'enseignant H

Nous pouvons remarquer d'après ces deux exemples que l'enseignant M introduit les connaissances objets de l'apprentissage avec leurs caractéristiques liées à la simulation tel qu'elle est différencié dans le tableau 1. L'introduction des connaissances est en rapport avec le contexte dans lequel l'activité a été conçue pour leur mise en œuvre. H les introduit dans un autre contexte.

L'enseignant M est dans la situation de l'enseignement de la réaction chimique mais fait le lien en même temps avec la situation de son enseignement dans un simulateur. Il fait un lien entre ce que l'élève a vu dans le micro-monde de la simulation et ce qu'il doit apprendre (voir tableau 1). En ce sens, Il fait un prolongement du travail de la simulation puisque qu'il se sert du contexte de l'activité. Il fait une séance de débriefing de l'activité. H au contraire se sert des concepts objets de l'apprentissage mais pas du contexte conçu pour leur introduction. En revanche il fait une séance qui ne s'appuie pas sur le contexte du TP. En ce sens il ne fait pas un débriefing de l'activité.

Remarques concluantes et implications pour l'enseignement

L'enseignant H n'a pas pu gérer l'introduction de la notion d'avancement à partir des éléments microscopiques manipulés par les élèves dans la simulation. Il a introduit les concepts et les connaissances objets de l'apprentissage mais pas dans le même contexte de l'activité. Nous remarquons un cas assez caractéristique c'est à dire que les enseignants font sans doute ça de temps en temps sans s'en rendre compte. Il peut arriver qu'ils pensent être en situation de débriefing alors que ce n'est pas le cas. Il semblerait de prime à bord que l'enseignant fait le lien avec le TP mais si nous regardons en détail nous pouvons observer que le contexte de l'activité n'est pas respecté et l'élève peut se perdre dans une telle situation.

Après une activité expérimentale quelconque, et dans une séance de débriefing c'est l'occasion de revenir sur l'ensemble des concepts liés à ce TP. C'est intéressant. Pour autant,

ce n'est pas simple car il faut proposer aux élèves un débriefing qui s'appuie sur cette activité expérimentale et non pas un qui ne réutiliserait pas les concepts mis en jeu par les élèves ainsi que les connaissances qu'ils ont manipulées et construites lors du TP. Le débriefing peut être sous forme de corrigé, peut impliquer une fiche de synthèse ou peut être un cours.

Chapitre 9 Le questionnaire

Introduction

L'étude de la séance de débriefing qui suit l'activité expérimentale, révèle essentiellement trois types de débriefings. Ces trois types « débriefing-corrigé, débriefing impliquant une fiche de synthèse et débriefing-cours » ont été évoqués dans les chapitres précédents (chapitre 5, 6 et 7).

Le premier type, fréquemment trouvé, a été analysé au chapitre 5 de cette thèse et divers résultats ont été identifiés. L'étude conversationnelle et didactique des débriefings-corrigés des différentes activités expérimentales révèle essentiellement une structure d'échange ternaire (question du professeur, réponse de l'élève, évaluation du professeur) qui s'instaure lors d'une discussion de classe. Nous avons montré que, sur plusieurs activités corrigées par plusieurs professeurs, 60% des questions posées par l'enseignant en cours de correction n'étaient pas celles qui se trouvaient dans le texte de l'activité. La plupart d'entre elles se réfèrent soit à ce que les élèves ont vu ou fait pendant l'activité, soit à ce qu'ils viennent de dire. Les évaluations des échanges ternaires ont été également catégorisées et il apparaît que la répétition par le professeur de ce qu'a dit l'élève est largement majoritaire. Pour le reste la reformulation de la réponse est un souci des enseignants, ainsi que le traitement de la connaissance qui a été mise en jeu par l'élève lors de sa réponse.

D'autres types de débriefings ont été rarement trouvés et ont été également étudiés. Le débriefing impliquant une fiche de synthèse que l'enseignant partage avec l'ensemble de la classe comme étant la synthèse. Cette fiche condense l'information d'un enseignement. Le débriefing cours est la séance où l'enseignant ne fait pas une simple conversation avec sa classe mais plutôt une présentation des connaissances mises en jeu lors de l'activité expérimentale. Les connaissances mises en jeu par l'enseignant sont bien structurées et organisées pour que les élèves puissent avoir une trace écrite.

Dans tous ces types de débriefings, l'enseignant reprend la responsabilité de la manipulation du savoir, en relation avec l'activité. Cette relation avec l'activité respecte *simultanément* deux conditions c'est ce qu'on a évoqué dans le chapitre 8 de la thèse. La première condition englobe les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage dans l'activité, et la deuxième évoque le contexte dans lequel l'activité a été conçue pour la mise en œuvre de ces connaissances.

Pour valider l'analyse qualitative dont les résultats viennent d'être rappelés, nous avons eu recours à une analyse quantitative en utilisant un questionnaire. Dans cette partie de la thèse, nous nous sommes donc préoccupés de présenter les différents résultats du questionnaire

élaboré à partir de nos différents types de débriefings. Les résultats du débriefing-corrigé, ont été pris en compte puisque que c'est le plus fréquemment observé. Des informations sur les différents types de questions susceptibles d'être posées par le professeur ainsi que sur les différents types d'évaluations ont été obtenue dans le questionnaire. Des questions portant sur le partage de l'enseignant d'une fiche de synthèse avec ses élèves ont été posées, ainsi que sur la structuration des connaissances sous forme d'un cours.

Contexte du travail

Le questionnaire étudié va nous servir d'une part, pour valider notre analyse qualitative et d'autre part, pour savoir quels aspects de l'analyse faite dans le contexte socioculturel français peuvent espérer avoir un caractère général. Pour cela, nous avons passé un questionnaire en France et au Liban. Le Liban a été choisi pour plusieurs raisons : C'est un pays francophone et en même temps le pays d'origine du chercheur. Les programmes libanais de chimie semblent ressembler trait pour trait aux programmes français d'il y a quelques années. Pour ces raisons, nous avons choisi de passer le questionnaire aux enseignants Libanais.

Nous avons prévu de dégager, à travers le questionnaire au Liban, une tendance générale qui n'est à notre connaissance pas décrite, sur la séance d'activité expérimentale et la séance de débriefing.

Question de recherche

Le but du questionnaire est de valider avec un nombre plus grand de professeurs en France et au Liban les catégories que nous avons trouvé avec cinq professeurs français. La question générale qui s'impose est la suivante : comment les enseignants se positionnent par rapport à nos résultats.

Le débriefing-corrigé a été de loin le plus fréquemment trouvé. Il semble faire partie d'un contrat entre l'enseignant et ses élèves que si des questions sont posées dans une activité des réponses doivent être données. Nous posons ainsi la question suivante : l'enseignant corrige-t-il tout travail demandé aux élèves ?

Une place importante est accordée aux activités expérimentales en France depuis longtemps et précisément après la réforme en 1999. Etant donné le point de vue français, nous étions intéressés par savoir la pratique libanaise concernant les activités expérimentales. La question qui se pose est formulée ainsi : comment se déroule le TP au Liban ?

Les résultats des débriefings présentés ci-dessous ont été pris en compte. D'où les questions qui en découlent sont les suivantes : Quels types de questions l'enseignant pose t- il et quel type d'évaluation fait- il suite à la réponse de l'élève dans le débriefing-corrigé ? Quelles

sont les autres types de débriefings envisagés par l'enseignant? Les connaissances mises en jeu dans un débriefing sont elles utilisées ultérieurement ?

Présentation générale du questionnaire

Nous avons élaboré un questionnaire comprenant trois parties. C'est un questionnaire de deux pages contenant des questions à choix multiples. Une étude pilote a été menée dans les deux pays et a permis d'affiner les questions. Le présent questionnaire est formé de trois parties :

Une première partie intitulée « Informations professionnelles de l'enseignant » portant sur les informations professionnelles des professeurs interrogés. Cette partie nous renseigne sur les profils des professeurs, leur formation initiale et leur expérience d'enseignements. Ce sont ces renseignements qui nous ont permis de décrire nos sujets.

Dans la deuxième partie « déroulement des corrections des exercices en classe », nous cherchons les informations relatives aux corrections du travail demandé aux élèves. Cette partie portant sur la correction des exercices en général, va nous permettre d'identifier le contrat existant entre le professeur et ses élèves concernant un travail donné par ce dernier (correction systématique ou non des exercices, qui fait la correction ?,...)

Une troisième partie intitulée « déroulement du TP » porte sur le déroulement de l'activité expérimentale et l'activité de l'enseignant lors de la séance de Débriefing. Elle va permettre de dégager les caractéristiques des séances de débriefings des activités expérimentales. Cette partie étant en lien avec nos résultats du corrigé, il est demandé à l'enseignant de spécifier les différents types de questions et d'évaluations. Dans cette dernière partie, il est question de décrire aussi la description de la séance de débriefing du point de vue conversationnelle et du point de vue connaissances. (Voir le questionnaire complet en annexe 7 document 7a et 7b). L'enseignant est demandé d'indiquer s'il s'organise pour que les élèves puissent conserver une trace écrite sous forme de fiche de synthèse ou de note de cours. Enfin cette partie porte aussi sur l'utilisation des connaissances mises en jeu, dans la séance de débriefing effectuée ultérieurement.

Une amélioration a été faite sur le questionnaire entre sa passation au Liban et sa passation en France. Des questions ont été ajoutées au questionnaire Libanais car le contexte des activités expérimentales diffère entre les deux pays. Cette différence apparaît à travers les questions 1 et 2 de la troisième partie.

Méthode

Le questionnaire a été passé à 41 enseignants dont 27 enseignants au Liban et 14 enseignants en France. Les dix questions posées sont présentées dans le questionnaire (voir annexe 7 document 7a et 7b) et que nous allons détailler par la suite

Quarante et un enseignants en France et au Liban ont répondu à notre questionnaire d'enquête relatif au travail de l'enseignant suite à l'activité expérimentale. Les sujets étaient tous volontaires. Les questions posées ont été regroupées en trois catégories qui ont été décrite ci dessus.

Sur 100 questionnaires administrés au Liban 27 ont été retournés, ce qui donne un taux de retour de 27 %. En France, le questionnaire a été envoyé à une liste de diffusion, donc nous n'avons pas un chiffre correspondant au nombre de personnes le recevant. Mais suite à des problèmes dans le robot de cette liste, 14 questionnaires ont été retournés. Les sujets ont eu le temps qu'ils souhaitent pour répondre aux questions. Cependant du retard a été constaté dans le remplissage des questionnaires au Liban et de la rapidité a été constaté en France à propos des sujets qui ont répondu. Le questionnaire avait été au préalable testé avec les professeurs se trouvant dans le groupe SESAMES pendant l'année scolaire 2006-2007 et divers discussions ont été évoquées sur la formulation des questions pour une bonne compréhension du lecteur.

Procédure de passation du questionnaire

Nous avons envisagé que les professeurs Libanais répondent au questionnaire sous forme papier et que les professeurs Français répondent par voix électronique. Le mail contenait des précisions sur l'objectif de l'enquête, le lien du questionnaire et des explications sur la démarche à faire pour enregistrer le document et l'envoyer en pièce jointe au chercheur.

Elaboration du questionnaire

Le questionnaire a été élaboré en utilisant « adobe professionnel option designer ». Il a été mis ensuite en ligne sur la page personnelle du chercheur.

Deux options se présentent à l'utilisateur sur le questionnaire « imprimer le questionnaire » et « envoyer par messagerie ». Le questionnaire peut être imprimé mais ne peut être sauvegardé que sous la forme d'un fichier XML que les professeurs envoient au chercheur. Le fichier XML permet au chercheur de retrouver les informations en l'important dans le questionnaire. Ce dernier est ensuite sauvegardé sous le nom du professeur interrogé.

Procédure d'analyse

Le traitement du questionnaire a été fait en utilisant le logiciel SPSS afin de décrire l'activité des professeurs dans les deux pays. Nous avons créé des variables qui sont les différentes questions posées dans le questionnaire. Les différentes valeurs de la variable représenté par des nombres tel que 1, 2, 3sont les différentes réponses à une question. (Les questions sont à choix multiples). Nous avons repris les résultats à partir des fichiers SPSS et les avons traités.

Nous présentons dans les lignes qui suivent les résultats de l'analyse des réponses au questionnaire.

Résultats de l'analyse des réponses aux questionnaires

Présentation de la population

Sur les 41 enseignants qui ont bien voulu répondre au questionnaire, 14 ont comme formation initiale une maîtrise, 18 ont passé le CAPES ou sont des professeurs agrégés, 7 ont une License, 2 ont une autre formation. Par ailleurs seuls deux professeurs ont un CAPES ou une agrégation et une autre formation.

Sur les 41 enseignants, 17 enseignent en classe de seconde, 10 au collège et en classe de seconde, 9 à la fois au collège, en seconde et première, 3 en seconde et première, 2 sont seulement au collège.

31 professeurs ont plus de 5 ans d'expérience, 7 moins de 5 ans et 3 ont juste 5 ans d'expériences.

Nous avons une variété d'enseignants dont la majorité enseignent en classe de seconde et ayant plus de cinq ans d'expériences.

Déroulement de la correction des exercices en classe

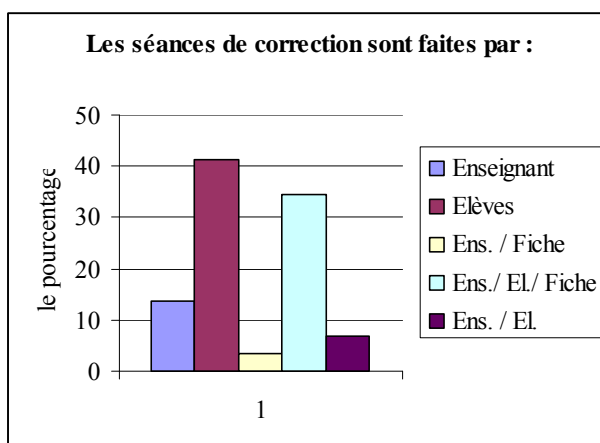
La question «*Vous corrigez tout travail demandé aux élèves?* » avait deux choix : oui ou non. « *Si non, la cause revient à* » les enseignants ont eu les trois propositions suivantes :

- ✗ Manque de temps
- ✗ Travail Facile
- ✗ Travail similaire à un autre
- ✗ Autres (préciser)

En choix n° 1, 38 donnaient la réponse dominante qui était oui. Les autres réponses obtiennent des scores très inférieurs voire nuls. 1 ne corrige pas par manque de temps, 2 ne corrige pas quand c'est un travail facile ou un travail similaire à un autre.

A la question « Les séances consacrées à la correction sont faites par vous-mêmes, par des élèves, par solution photocopiée et distribuée (supposé être rédigé par l'enseignant) ».

Nous remarquons (graphe 1) que la correction est faite à 41% par des élèves. 34% des enseignants donnent les 3 choix en même temps. 13 % des enseignants concernés par l'enquête eux même corrigent l'exercice, 7 % disposent de deux choix soit par eux même soit par les élèves et 3 % par eux en classe ou par le moyen d'une solution corrigée.



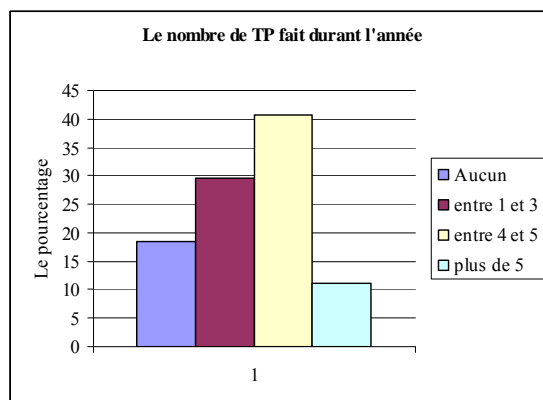
Graphe 1 Le pourcentage des moyens de la correction

Nous remarquons d'après ces deux questions le point de vue des enseignants que tout travail donné aux élèves doit être corrigé. La majorité des enseignants préfèrent que la correction soit faite par les élèves au tableau. Ces questions nous permettent de comprendre le point de vue des professeurs lors des réunions du groupe SESAMES, que dans les débriefings-corrigés l'enseignant se sente obligé de répondre aux questions du texte de l'activité. Il semble faire partie d'un contrat que cette discussion doit se produire et qu'il doit y revenir à ces questions.

La différence entre la France et Le Liban

Deux questions traitées dans ce paragraphe ont été posées dans le questionnaire libanais afin de comprendre la place des activités expérimentales au Liban. Etant donné le point de vue français, nous étions intéressés par savoir la pratique libanaise.

Le graphe 2 montre les réponses à la question 1 qui concerne le nombre de TP fait durant l'année. Nous pouvons remarquer que la majorité des d'enseignants libanais (41 %) font entre 4 et 5 TP durant l'année.



Graph 2 le nombre de TP fait par les enseignants libanais par année.

La deuxième question posée se présentait de la façon suivante :

Les élèves réalisent-ils eux-mêmes l'expérience pendant le TP ?

☐ Oui ☐ Non

a) Si oui, les élèves travaillent-ils :

☐ Seuls 1 ☐ Par binômes ☐ Par petits groupes (3 et plus) 5

b) Si non La cause revient à :

☐ Un manque du temps.

☐ Un manque de matériels du Laboratoire

☐ Un manque des 2 ensemble.

70 % des enseignants déclarent que leurs élèves ne réalisent pas eux-mêmes l'expérience pendant le TP. Seulement 30 % expriment que leurs élèves le font (voir le graphe 3) et en petits groupes (3 élèves et plus).

Quand les élèves ne réalisent pas l'expérience la cause revient pour 31 % des enseignants à un manque de temps, pour 21 % à un manque de matériel de laboratoire et pour 47 % à un manque des deux.

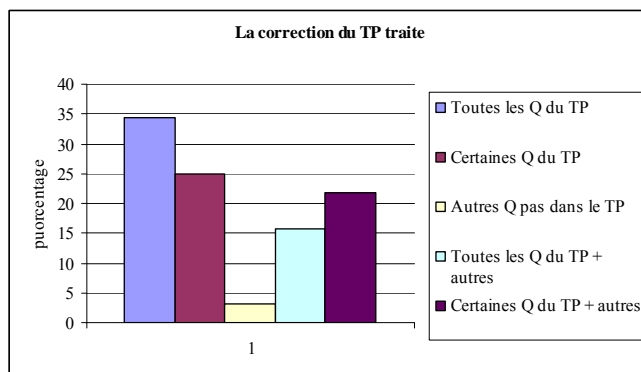
Nous pouvons remarquer des différences entre la pratique des activités expérimentales en France et au Liban. La cause ne revient pas à l'enseignant mais à un manque de matériel dans l'établissement scolaire.

Le lien avec nos résultats du corrigé

Nous allons présenter les résultats des réponses de la troisième partie de notre questionnaire. Elle va permettre de spécifier les différents types de questions et d'évaluations de l'enseignant, ainsi que la conservation d'une trace écrite de la part des élèves. L'utilisation des connaissances mises en jeu, dans la séance de débriefing va être évoquée ultérieurement.

La correction en classe traite toutes les questions du TP pour 34 % des enseignants (graphe 3). Toutefois il est intéressant de noter que 25 % corrigent certaines questions ; cela peut

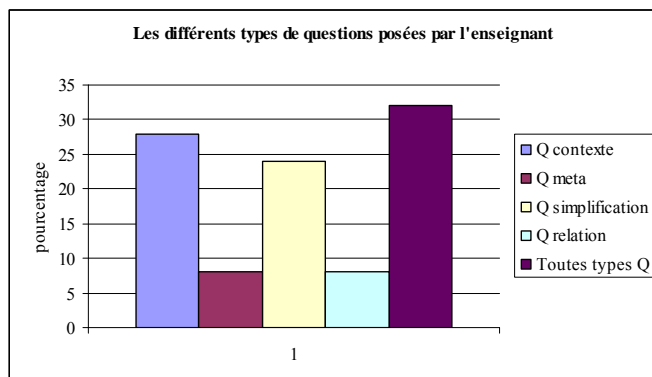
s'expliquer par le fait que l'enseignant corrige seulement celles où il remarque qu'il y a un problème. 21 % ajoutent d'autres questions à certaines qu'ils choisissent du TP, 15 % les corrigent toutes et en posent d'autres ne se trouvant pas dans le TP. Seulement 3 % ne corrigent pas celles du TP mais en choisissent d'autres ne se trouvant pas dans la fiche du TP (graphe 3).



Graphe 3 les questions posées par l'enseignant lors de la correction du TP

Nous pouvons remarquer que presque la totalité des enseignants (sauf 3%) corrigent des questions se trouvant dans la fiche du TP.

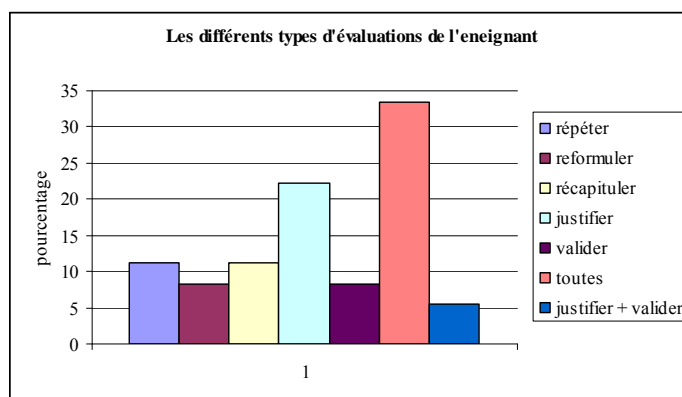
Quant aux types des questions posées par l'enseignant les résultats se trouve dans le graphe 4. Nous pouvons remarquer que 32 % des enseignants interrogés posent les différents types de questions trouvés dans le débriefing corrigé de l'activité (chapitre 5), tandis que 28 % restent au niveau du contexte du TP et les expériences réalisées pendant l'activité dans leurs interrogations. Toutefois il est intéressant de noter que 24 % posent des questions servant à simplifier celles qui sont complexes, 8% cherchent à créer des relations entre les diverses connaissances en relation. Seulement 8% des enseignants élèvent le débat en s'interrogeant sur l'utilité de certaines questions.



Graphe 4 les différents types de questions posées par l'enseignant.

Le résultat de l'analyse montre que la majorité des enseignants posent tous types de questions et la plupart du temps des questions de contexte. Les questions de simplification avaient leur place avec les 24 %. Cette catégorisation nous a permis lors des études de cas et avec le questionnaire de comprendre la relation entre le corrigé et le travail prescrit pendant l'activité ainsi que la manière dont les professeurs rapportent leurs questions à ceux dérivées du texte de l'activité expérimentale, étant (i) plus concret (les questions de contexte), (ii) davantage abstrait (les questions méta), (iii) plus simple (les question de simplification), ou (iv) plus complexe (les questions de relation).

Après la réponse de l'élève, l'enseignant fait différents types d'évaluations. Le graphe 5 nous montre que 33 % des enseignants utilisent l'activité de formulation et de traitement de connaissances (Toutes le pic le plus grand dans le graphe 5) lors de leur évaluation. 36 % des enseignants donnent une place importante au traitement des connaissances mises en jeu par les élèves (valider et justifier), tandis que la formulation occupe une place importante dans l'évaluation de 30 % des enseignants (répète, reformule et récapitule).



Graphe 5 les différents types d'évaluations de l'enseignant.

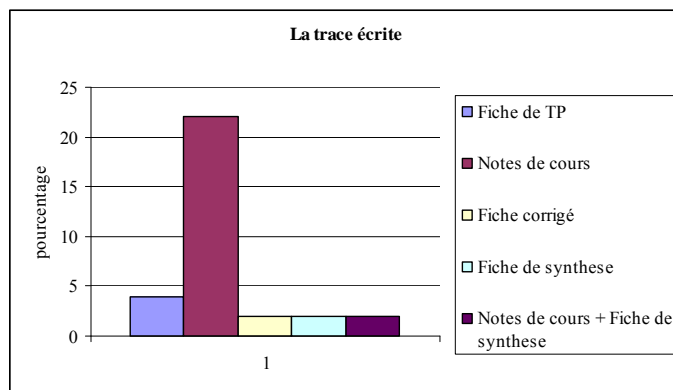
Nous avons remarqué que les enseignants interrogés ne déclarent pas dans la suite de la question (préciser autres) s'il y en a d'autres types d'évaluations faites lors de la correction. Les enseignants ne parlaient pas d'introduction de nouvelles connaissances, de contextualisation et de généralisation qui sont fondamentaux et forment l'une des bases en science. Ces résultats sont en accord avec les conclusions obtenues dans le débriefing-corrigé.

La conservation d'une trace écrite

Deux débriefings ont été présentés dans les chapitres 6 et 7 potentiellement intéressants qui pourraient se substituer aux corrigés d'activités et où les élèves peuvent garder une trace écrite. Deux débriefings ont l'air efficace et l'enseignant dans ce cas, soit fait une structure,

fait écrire les élèves ou les guide à la prise de notes (débriefing-cours) soit se réfère à un texte de savoir (débriefing impliquant une fiche de synthèse).

Dans le questionnaire 69% des enseignants déclarent leurs intentions de garder avec les élèves une trace écrite sous forme de notes de cours (graphe 6). La conservation de l'écrit pour les 30 % autres peut être la fiche de TP, une fiche de synthèse ou des notes de cours.



Graphe 6 La conservation d'une trace écrite

Avec nos analyses de cas, nous avons remarqué que les débriefings-cours ainsi que ceux impliquant une fiche de synthèse sont rarement observés. Le résultat des études de cas est valable pour le questionnaire concernant la fiche de synthèse tandis que ce n'était pas le cas pour le débriefing-cours. Dans le questionnaire nous pouvons remarquer que le moyen le plus simple pour l'enseignant pour faire profiter l'élève du TP est de lui dicter des notes de cours. Nous n'avons pas assez de données pour expliquer cette réponse mais la confusion de l'enseignant entre un cours transmissif et le débriefing cours peut être une cause.

L'utilisation des connaissances mises en jeu lors du débriefing

Le travail effectué durant le TP aide 42 % des enseignants dans un cours ultérieur, 30% dans les exercices, dans d'autres TP ainsi que dans des cours ultérieurs. 26 % ne s'en servent que pour rappeler ces connaissances dans les exercices.

Nous pouvons remarquer que le travail effectué durant le TP est réutilisé par les enseignants dans un moment ultérieur qui peut être le cours, les exercices ou un autre TP. C'est une remarque intéressante au niveau de la continuité du savoir qu'on a retrouvée avec nos analyses de cas.

Conclusion et perspectives

Une variété de professeurs enseignant en classe de seconde et ayant plus de cinq ans d'expériences ont été questionnés.

Un point de vue général a été remarqué lors de l'analyse qualitative ainsi que dans les questionnaires que tout travail donné aux élèves doit être corrigé. Nous avons remarqué que la majorité préfère qu'elle soit faite par les élèves au tableau.

Des différences ont été observées entre la France et le Liban. D'une part les élèves ne réalisent pas par eux-mêmes les expériences, d'une autre part s'ils le font c'est en petits groupes. La cause revient à un manque de temps et de matériel de laboratoire.

La majorité des enseignants posent tous types de questions et la plupart du temps des questions de contexte. Les questions de simplification avaient leur place avec les 24 %. Cette catégorisation nous a permis lors des études de cas et avec le questionnaire de comprendre la relation entre le corrigé et le travail prescrit pendant l'activité ainsi que la manière dont les professeurs rapportent leurs questions. L'activité des enseignants étaient la plus part du temps de la formulation et du traitement de connaissances.

Les enseignants préfèrent que les élèves aient de notes de cours ce qui n'a pas été observée lors de nos analyses de débriefings.

Nous pouvons remarquer que le travail effectué durant le TP est réutilisé par les enseignants dans un moment ultérieur qui peut être le cours, les exercices ou un autre TP. C'est une remarque intéressante au niveau de la continuité du savoir.

Notre questionnaire a permis de valider de résultats se trouvant dans l'analyse qualitative (étude de cas) sauf en ce qui est en rapport avec le débriefing-cours. Nous déclarons que les résultats obtenues ne sont que des hypothèses qui doivent être confirmées ou non par une étude quantitative.

Le cœur du travail était la compréhension de l'activité de l'enseignant, quand s'opère la structuration des connaissances construites de façon mal contrôlée pendant un TP en autonomie. De cette compréhension devrait résulter la possibilité de formation d'enseignants.

Le travail avec des professeurs libanais à travers le questionnaire a permis d'estimer le caractère général de nos résultats dès que l'on a quitté l'enseignement franco-français et ses spécificités. Ce travail doit être suivi ultérieurement par des prises de données qui apportent des informations précises pour la formation des enseignants du secondaire libanais.

*« Dieu nous a créé pour que nous soyons à notre tour
créatifs »*

Chapitre 10 Conclusion générale

Conclusions

Les instructions précises des programmes scientifiques d'août 1999 en Seconde en France ont demandé de mettre en place un enseignement scientifique basé sur la démarche d'investigation. Des conséquences visibles sur les pratiques enseignantes résultant de la nouvelle démarche pédagogique et sur les manuels scolaires, notamment, sont apparues afin d'éviter d'introduire systématiquement les connaissances pendant un cours et de privilégier l'implication de l'élève dans des activités scientifiques. A la suite de l'activité confiée aux élèves, l'enseignant a donc tout intérêt à y revenir, puisque les connaissances y ont foisonné, peu structurées et peu organisées. L'objectif de notre étude était de décrire ce retour appelé *Débriefing de l'activité*. Celui-ci peut être de différentes natures, et le statut de la connaissance qui est l'objet de l'apprentissage en dépend. Notre travail se distingue des nombreuses études sur la professionnalité enseignante par le fait que c'est généralement le moment de l'activité qui est étudié, et non ce qui suit l'activité comme dans cette thèse.

Notre méthodologie d'analyse s'est avérée efficace pour répondre à notre objectif. Dans ce qui suit nous allons récapituler les points qui nous paraissent importants parmi les résultats que nous avons obtenus, poser de nouvelles questions et ouvrir des pistes de recherches. Les parties que nous pouvons énoncer se situent à deux niveaux : au niveau des différents types de débriefings que nous avons observés, ainsi qu'à celui du retour sur la méthodologie afin de donner des perspectives pour l'améliorer.

Les différents types de débriefings

Le débriefing est un des moments de l'enseignement où l'enseignant reprend la responsabilité de la manipulation du savoir après l'avoir dévolué aux élèves pendant l'activité expérimentale. L'enseignant y traite du même savoir et dans le même contexte que celui du travail (confié aux élève) qui est débriefé. Nos observations ont conduit à classer les débriefings en trois catégories. Ces différents modes de travail ne sont pas exclusifs et peuvent alterner dans une même séance. Ces possibilités d'organisation donnent une flexibilité à la panoplie que l'enseignant peut avoir à sa disposition.

Le débriefing-Corrigé

Le débriefing corrigé a été de loin le plus fréquemment observé. Les débriefings corrigés sont les moments au cours desquels l'enseignant corrige tout ou partie des questions qu'il a posées lors de l'activité. La structure du débriefing suit alors celle de l'activité.

L'approche linguistique et didactique des corrigés d'activités a évoqué l'intérêt de cette pratique enseignante imposée par les programmes, mais a montré ses limites si l'enseignant se restreint à une stricte correction. Une partie seulement du savoir est mise en jeu, et une partie conséquente des échanges ternaires n'apporte que peu d'informations nouvelles sur les concepts sensibles.

Les corrigés d'activités qui interviennent sous la forme d'une discussion de classe sont donc des moments où le professeur revient beaucoup sur ce qu'a fait l'élève, autant au moment des questions que lors des évaluations des réponses des élèves, avec les nombreuses répétitions.

Les étudiants connaissent les réponses des questions (parce qu'elles sont des questions de texte et de contexte). Nous avons remarqué, hypothèse validée par les professeurs lors des réunions du groupe, que dans ses débriefings-corrigés, l'enseignant se sent obligé de répondre aux questions du texte de l'activité. Il semble que cela fait partie d'un contrat, que cette discussion se produise et que l'enseignant doive revenir à ces questions que lui-même a posées à la classe à travers la fiche de TP. Revenir aux questions texte est important pour que les élèves aient des réponses, mais aucune nouvelle réflexion n'est engagée.

La contextualisation et la généralisation qui sont fondamentales et forment l'une des bases de l'enseignement scientifique n'occupent qu'une petite partie des phases d'évaluation de l'enseignant. Les généralisations qui interviennent dans les évaluations pourraient être l'occasion d'une rupture de l'échange ternaire et faire place à une dictée (commentée) de certaines facettes de connaissances. Cela n'est pas pratiquement arrivé. Au contraire, il n'y a pas de prise de note c'est qui a été observée d'après nos bandes vidéos. L'information est donc plus facilement perdue.

Les interventions des élèves étaient sous forme de réponses ou sous forme de questions. Les questions étaient rares par rapport aux réponses. Les réponses les plus fréquentes étaient sous forme de description et d'interprétations d'observations effectuées pendant l'activité expérimentale. Ceci peut s'interpréter par le fait que le corrigé n'incite les élèves à poser des questions.

Il n'est donc pas surprenant que les professeurs aient parfois le sentiment que la classe ne soit pas particulièrement motivée par cette pratique caractérisée par l'absence de nouveauté sur un sujet déjà travaillé en classe.

Le débriefing impliquant une fiche de synthèse

Dans ce type de débriefing, nous avons constaté que l'enseignant proposait un document conçu comme une synthèse de ce qu'il entend partager avec ses élèves. Cette fiche de synthèse, condensé essentiel d'un enseignement, peut être de différentes natures.

L'enseignant reprend manifestement les points qui sont importants, comme les définitions, les éléments du modèle et des résultats. Il laisse ainsi une trace écrite qu'il estime adaptée pour présenter l'ensemble des connaissances du domaine étudié. Divers connaissances sont reprises, dont le modèle et des connaissances antérieures et des nouvelles.

Cette fiche de synthèse peut contenir des comparaisons et des articulations de connaissances. L'enseignant à travers la fiche de synthèse peut articuler deux activités expérimentales. Il essaie alors de rapprocher les connaissances mises en jeu par les élèves lors des deux TP pour les comparer. Il peut aussi articuler un TP avec la suite de la séquence à travers les connaissances nouvelles. La fiche de synthèse permet donc d'articuler deux TP ou d'un TP avec la suite de la séquence.

Cette fiche regroupe l'essentiel des connaissances en suivant le cheminement de l'activité. La forme des connaissances mises en jeu est opérationnelle et fait appel à différents registres sémiotiques.

La contextualisation et la généralisation occupent une partie dans le dialogue et particulièrement lors de la lecture de cette fiche.

La discussion de classe a la forme d'un échange ternaire : demande, exécution et commentaire. Dans les observations que nous avons faites, les interventions des élèves étaient sous forme d'exécution et rarement sous forme de réponse.

La fiche de synthèse est trois fois plus riche qu'un débriefing-corrigé ; elle permet de :

- ✗ présenter le modèle d'une autre façon,
- ✗ le réexplorer lors de la lecture de la fiche et
- ✗ le dépasser à travers les connaissances antérieures et nouvelles.

Le débriefing de l'activité mettant en jeu une fiche de synthèse est trois fois plus riche qu'un corrigé simple de l'activité au niveau des facettes des connaissances et l'exploration du modèle. Il permet de répéter des connaissances se trouvant dans le modèle, d'une part à travers le document et d'autre part à travers sa lecture. Des nouvelles facettes sont évoquées dans la fiche de synthèse.

Cette fiche de synthèse est créée à partir des connaissances et des représentations sémiotiques de l'activité. Elle permet à l'élève de conserver une trace écrite après un enseignement par activité. Cette trace est formulée dans un langage plus complexe et moins contextualisé que le discours de l'enseignant. La relation, entre l'activité faite en TP et la fiche de synthèse, est immédiate lorsque l'enseignant prend en charge la relation entre

l'activité et les élèves, à travers la lecture commentée en classe. Cette relation peut ne pas être prise en charge par l'enseignant s'il se limite à la lecture de la fiche.

Dans les séances observées, une fiche n'a pas été utilisée en classe par l'enseignant (elle était à lire par les élèves chez eux), une autre a été lue avec les élèves et une troisième lue et mise en relation avec le TP. Pendant le TP, l'élève a certainement manipulé un certain nombre de connaissances sous une forme ou sous une autre, mais l'enseignant a fait tout un travail sur les connaissances lors de la création de la fiche de synthèse. Pour assurer l'apprentissage des élèves et ne pas perdre la pertinence de cet outil contenant des connaissances nouvelles et des représentations variées, l'enseignant doit faire une marge d'amélioration au niveau de son utilisation en classe. De même une construction d'une partie de la fiche avec la classe, à partir des connaissances mises en jeu lors du TP, rend le travail très intéressant.

Le débriefing-Cours

Enfin, la troisième classe de débriefing a consisté en un cours, au sens transmissif du terme, qui était basé à la fois sur les connaissances de l'activité et sur son contexte. Un débriefing est dit du type cours quand l'enseignant prend la main dans sa classe et quand la discussion n'est plus une simple conversation mais plutôt une présentation qui a une certaine structure, et où les élèves partent avec une trace écrite.

L'approche linguistique et didactique des débriefings cours structuré a évoqué l'intérêt de cette pratique enseignante, et a montré ses avantages. La structure des débriefings, dans les séances observées, était en lien avec l'activité expérimentale à travers le cheminement des thèmes du TP. Les débriefings de cette classe que nous avons observés sont surtout des discussions de classe incorporant des contres échanges. Ce type de débriefing a été rarement observé. Cette forme intéressante de débriefing nous semble être un alternatif au cours transmissif.

Le cours a permis un déroulement structuré du texte du savoir. La relation entre ce cours et l'activité qui l'a précédée, et où ont été introduites les connaissances lors d'une démarche d'investigation, apparaît dans la structure du cours et dans les exemples qui nourrissent ce cours. Les professeurs ont traité les questions du texte de l'activité, et utilisé des questions hors texte. Le retour aux questions textes indique aux élèves que le travail qu'ils ont fourni est bien pris en compte (satisfaction du contrat)

Divers éléments différencient le débriefing-cours des autres types. L'écrit a joué un rôle important dans les séances de débriefing-cours. Cet écrit résulte des échanges verbaux ainsi que du discours entre l'enseignant et ses élèves en classe. C'est un élément essentiel dans le processus de l'apprentissage des élèves. Les répétitions des enseignants aidaient à la prise de notes organisées et dirigées par la stratégie discursive de l'enseignant. La génération des questions de la part des élèves était une marque de participation scientifique. Ces questions

résultaient de l'introduction des nouvelles connaissances. Le débriefing-cours a permis d'introduire de nouvelles connaissances qui ne sont pas observées dans un débriefing-corrigé. Ces connaissances se trouvent soit dans les évaluations, soit dans les contre échanges.

Les phrases dictées aux élèves sont formulées dans un langage plus complexe que ce que l'enseignant prodiguait dans son discours. Ces débriefings-cours permettent à l'élève de conserver une trace écrite après un enseignement par activité.

Les débriefings d'activités qui interviennent sous la forme d'un cours sont donc des moments où l'enseignant revient sur ce que dit l'élève lors des évaluations des réponses des élèves, avec les nombreuses répétitions. Beaucoup de traitement de connaissance, de contextualisations et de généralisations sont mis en jeu. Il n'est donc pas surprenant que cette pratique motive les élèves à poser les questions, puisqu'ils écoutent beaucoup de nouveautés sur un sujet déjà travaillé en TP.

La structure du débriefing cours peut être de deux manières. Une première consistant en un cours qui suit la structure du TP illustrant un ensemble de points du curriculum avec des omissions et des additions. Une deuxième où le cours a une structure différente qui emprunte des exemples au TP illustrant un point de vue du curriculum.

Dans nos débriefings-cours, nous avons remarqué que les enseignants organisaient, structuraient, notaient, dictaient et répétaient les connaissances aux élèves afin qu'ils construisent une trace écrite. Divers activités fondamentales de l'enseignant ont été largement traitées, en apportant des nouvelles facettes de connaissances.

Retour sur la méthodologie

La méthodologie d'analyse que nous avons adoptée s'est avérée fructueuse du fait qu'elle nous a donné la possibilité de décrire les activités des enseignants dans les séances de débriefings. Les analyses étant faites, nous faisons un retour sur cette méthodologie afin de donner certaines conclusions, spécifiquement en ce qui concerne les facettes de connaissances et les échanges ternaires.

Analyse cognitive : Les facettes de connaissance

Le passage de la verbalisation à la construction de la facette est extrêmement important. L'intérêt de la notion de facettes tient au fait que ce sont pratiquement des observables, ce qui permet l'identification ou la comparaison de l'état d'une connaissance entre plusieurs individus ou situations. L'aspect pratique des facettes nous a permis de les utiliser comme outil méthodologique pour identifier les connaissances mises en jeu par les enseignants lors de leurs débriefings d'activités et de rester proche de la verbalisation de l'enseignant. Autrement dit grâce aux facettes nous sommes capables de faire une analyse du savoir ou

analyse didactique. A partir des productions verbales des enseignants, nous avons établi des listes de facettes qui nous ont permis de faire des comparaisons entre les facettes énoncées dans différentes situations (les différents débriefings d'un même enseignant) et avec éventuellement différents locuteurs (les débriefings des différents enseignants) ainsi que les différents textes (texte du modèle, texte de la fiche de TP et texte de la fiche de synthèse). Il a été ainsi possible de compter le nombre de facettes relatives à des connaissances données dans un discours, ou dans un texte, et les comparer entre eux. Il a été également possible de comparer la complexité de ces facettes.

Une intervention peut ou non contenir une facette de connaissance, voire plusieurs facettes. De même, il arrive, certes plus rarement, qu'une facette nécessite plus d'une intervention pour être entière.

L'étude didactique des débriefings a montré que les facettes de connaissances du professeur étaient presque toutes dans les phases d'évaluation. Nous avons constaté une grande hétérogénéité du fonctionnement des connaissances en classe, d'une activité à l'autre, d'un enseignant à l'autre pour un sujet donné, et pour un même enseignant lors d'un sujet donné, d'une séance à l'autre. Nous pouvons également envisager que, les facettes diffèrent parce qu'elles apparaissent dans des interventions d'évaluations fortement liées aux réponses des élèves, et dépendent donc du contexte d'enseignement.

Une variété de facettes a été utilisée par les enseignants pour un même thème. Ces facettes utilisées apparaissent beaucoup moins complexes que celles relevées dans le manuel, la fiche de synthèse ou les facettes mises en jeu lors de la dictée des prises de notes aux élèves. Cette utilisation naturelle de facette peu complexe est également bénéfique pour une adaptation du discours. La différence quantitative peut être en rapport avec la différence entre une expression écrite (manuel) et orale (enseignant). La différence qualitative peut être en rapport avec la relation avec l'activité expérimentale (évaluation de contexte) qui oriente le professeur vers l'utilisation de facettes à 1 concept sensible (L'élément chimique est en solution ; L'élément chimique cuivre change d'état ; etc.). Cette différence de complexité entre le discours oral et le texte du modèle n'est certes pas surprenante puisqu'un texte écrit est forcément plus travaillé et aboutit donc à un nombre supérieur de concepts en relation (à quelques rares exceptions près).

Par contre pour un thème donné par exemple le modèle de Lewis nous avons trouvé une abondance de facettes. Cette abondance de facettes utilisées par les enseignants peut se comprendre parce qu'ils disposent du texte d'un modèle, et que l'activité a explicitement questionné ce modèle.

Les fréquences d'apparition des concepts sensibles mis en relation par les enseignants, au sein des facettes, diffèrent notablement des fréquences dans le texte du modèle, la fiche de synthèse ou du cours du livre. Cette fréquence diffère notablement d'un enseignant à l'autre.

Nous avons remarqué un certain nombre de facettes ont mis en jeu qui ont été répétées au cours de la séance. La continuité du savoir a été vérifiée à travers les facettes antérieures retrouvées dans les débriefings.

Une abondance de facettes retrouvées dans les deux débriefings semble liée au fait que l'enseignant fait un cours au sens transmissif. Nous n'avons pas assez de données pour généraliser mais il se trouve qu'un débriefing cours est plus riche qu'un corrigé. L'enseignant ajoute beaucoup de nouvelles connaissances ne se trouvant pas dans l'activité expérimentale.

Nous nous sommes rendu compte lors de nos analyses des représentations du caractère implicite ou explicite des facettes. Une même facette peut être utilisée implicitement dans une situation et explicitement dans une autre. Suivant le registre où la facette est explicitée, la compréhension ne se construit vraisemblablement pas de la même façon, en tout cas cela serait à approfondir.

Analyse linguistique : Echanges ternaires

L'analyse conversationnelle a permis de comprendre l'interaction entre l'enseignant et ses élèves d'une part et la réaction des élèves lors du débriefing d'autre part. Une telle approche linguistique permet de structurer notre analyse des pratiques enseignantes en étudiant les interventions I d'une part, et E d'autre part, toutes deux sous la responsabilité de l'enseignant.

Dans les débriefings-corrigés, nous avons remarqué que les interventions initiatives de l'enseignant sont la majorité du temps des questions. L'étude des interventions initiatives s'est ramenée à l'étude des questions que pose l'enseignant à la classe. Les questions posées ont été d'abord catégorisées en questions du texte de l'activité et questions hors texte. Cette catégorisation nous a permis de comprendre la relation entre le corrigé et le travail prescrit pendant l'activité ainsi que la manière dont les professeurs rapportent leurs questions à celles dérivées du texte de l'activité expérimentale, étant (i) plus concret (les questions de contexte), (ii) davantage abstrait (les questions méta), (iii) plus simple (les questions de simplification), ou (iv) plus complexe (les questions de relation). Les interventions des élèves ont été catégorisées en réponses aux questions de l'enseignant et questions à l'enseignant. La plupart des réponses des élèves étaient des interprétations et des observations faites lors de l'activité expérimentale. Cette catégorisation nous a permis de comprendre la relation entre le corrigé et le travail prescrit pendant l'activité ainsi que la manière dont les élèves interviennent lors du débriefing. Après la question de l'enseignant et la réponse de l'élève, l'enseignant intervient par son évaluation. Il s'agit de la troisième intervention de l'échange ternaire. Nous les avons regroupé dans quatre catégories, suivant que l'enseignant intervient sur les termes de la réponse de l'élève (reformulation), sur les

connaissances mises en jeu par l'élève, ou sur le fait qu'il contextualise, ou qu'il généralise des éléments de la réponse.

Dans les débriefings impliquant une fiche de synthèse nous avons constaté un nouveau schéma général de l'échange ternaire lors de la lecture de la fiche de synthèse. Une intervention initiative : qui est une demande de l'enseignant et est souvent la lecture ou la continuation de la lecture de la fiche de synthèse, une intervention réactive : qui est une exécution de la part de l'élève, la lecture de la fiche de synthèse et finalement une intervention évaluative : qui est un commentaire de l'enseignant suite à la lecture, relative à la partie lue par l'élève.

Dans les débriefings-cours, nous avons remarqué que les échanges enchâssés occupent une place importante par rapport au nombre total des échanges. Cela peut s'expliquer par le fait que l'enseignant enchaîne des discussions avec ses élèves qui cherchent des clarifications sur les nouvelles connaissances introduites. L'analyse conversationnelle nous a permis une observation intéressante concernant l'intervention de l'enseignant. Dans la même intervention, une partie de ces productions verbales n'étaient pas en lien ni avec son évaluation suite à la réponse de l'élève appartenant au précédent échange ternaire, ni avec la nouvelle question initiant le nouvel échange ternaire. Nous avons appelé « contre échange » cette rupture de l'échange ternaire. L'enseignant introduit alors des informations entre l'évaluation d'un échange ternaire et la question de l'échange suivant. Dans ces contre échanges, nous cessons d'être dans le mode conversation, mais nous nous retrouvons dans le mode professoral qui permet de donner de l'information d'une autre façon. Nous avons constaté aussi la génération des questions de la part des élèves qui est une marque de participation scientifique.

Intérêt de l'activité expérimentale

Un travail sur les représentations, le modèle, le lien avec la vie quotidienne, la modélisation etc. se trouve dans ces différentes séquences. Ce qui justifie leur originalité et leur choix pour les études des débriefings.

Nous avons étudié une activité expérimentale sur la classification périodique permettant l'utilisation du raisonnement causal. L'idée de base dans cette tâche, était l'introduction de nouvelles connaissances sur la classification périodique, en se basant sur la dynamique des connaissances antérieures (sous forme de loi de passage) mises en jeu par les élèves. Nous avons montré que la tournure des questions dans la séquence d'enseignement favorisant le raisonnement causal était capable de mobiliser ces connaissances et les faire évoluer vers de nouvelles, proches de celles attendues lors de la construction de la séquence dans la séance de débriefing. L'abondance des schémas a permis à de nombreux élèves de s'y retrouver et aux autres de comprendre plus facilement les explications de l'enseignant. L'approche de la causalité et de l'argumentation semble avoir été une voie intéressante, mais pour laquelle la

prise en charge par l'élève fait apparaître des faiblesses. L'intérêt de l'argumentation est de prendre en main la totalité de la séquence.

Nous avons présenté l'activité expérimentale permettant l'utilisation d'une analogie pour construire le concept d'élément chimique. Sur la base de la propriété de conservation, propriété caractérisant la catégorie à laquelle l'élève doit donner du sens, la séquence innovante proposée s'appuie sur l'analogie fournie pour mettre les élèves face à une contradiction due à la polysémie de terme *cuivre*. Celui-ci signifie pour eux à la fois *métal cuivre* et *élément chimique cuivre*. La façon dont les élèves lèvent la contradiction révèle un point de vue original sur la réaction chimique. L'analyse de l'approche de trois enseignants, qui utilisent la contradiction et l'analogie, montre l'intérêt de la séquence mais aussi sa difficulté. L'approche de l'analogie semble avoir été une voie intéressante, mais pour laquelle la prise en charge pose des difficultés à l'enseignant. En particulier, il semble qu'elle estompe le rôle de la notion de modèle qui met en jeu, en filigrane, la notion de fonctionnement de la science, rarement prise en compte dans l'enseignement. L'analogie n'est pas une simple aide ponctuelle, mais l'installation d'un schéma de pensée et d'un outil d'expression aussi cadré que possible.

Intérêt de la notion de débriefing

La modification de pratique engendrée par la suppression d'un exposé préalable des connaissances, remplacée par une activité réalisée par les élèves, une démarche d'investigation, ou autres, a été suivie d'études sur l'élaboration et l'évaluation de l'activité, mais à notre connaissance, leur débriefing n'a pas donné lieu à une investigation de type recherche didactique. Notre travail se place dans cette nouvelle optique et permet une compréhension de nouveaux aspects des séquences d'enseignement.

Le foisonnement des connaissances mis en œuvre par l'élève pendant l'activité est organisée par l'enseignant. L'enseignant indique à l'élève quelles connaissances sont conformes au savoir enseigné et il les formule dans une phase que Brousseau a appelé l'institutionnalisation. Cette activité d'institutionnalisation n'est pas la seule que le débriefing prend en compte. L'enseignant d'une part effectue un retour sur les différents textes fournis lors de l'activité, et d'autre part projette le contexte expérimental de l'activité dans le nouveau tissu de connaissances que l'élève va devoir apprendre.

L'apparition dans les productions verbales de l'enseignant, des facettes de connaissances ne se trouvant pas dans le texte du TP montre l'intérêt d'un débriefing cours. La séance n'est pas une simple séance après l'activité expérimentale mais un lien avec la suite de la séquence d'enseignement à travers les nouvelles connaissances introduites.

Les facettes antérieures retrouvées dans les débriefings montrent l'intérêt du débriefing dans la continuité du savoir.

Les facettes de connaissances permettant de rectifier les erreurs rencontrées avec les élèves lors du TP montrent l'intérêt du débriefing. Il s'agit d'une observation intéressante sur l'évolution de la préparation de l'enseignant pendant un enseignement par activités. Cette observation montre l'intérêt du débriefing qui n'est pas une simple séance après l'activité expérimentale mais un appui de ce qui se passe en activité.

Les fiches de synthèses impliquant des connaissances antérieures, nouvelles et reprises du modèle montre l'articulation de la séance de débriefing avec la suite de la séquence. La séance n'est pas une simple séance après l'activité expérimentale mais un lien entre les différentes parties de la séquence.

Perspectives

Nous avons présenté la complémentarité de deux méthodes d'analyses pour décrire l'activité des enseignants lors de la séance de débriefings. Ce travail n'englobe qu'une partie des analyses qui pourraient être menées sur le corpus qui a été recueilli.

Notre questionnaire a permis de valider des résultats se trouvant dans l'analyse qualitative (étude de cas). Comme notre échantillon de professeurs n'est pas représentatif, nous pensons que ce travail ne pourra pas établir des conclusions générales mais pourra servir à établir des hypothèses. Une analyse sur un grand échantillon serait utile afin d'avoir des résultats quantitatifs.

Cette analyse peut être approfondie en filmant des séances de débriefings où l'enseignant peut poser la question aux élèves de ce qu'il faut retenir. Une telle analyse peut être utile pour comprendre ce que les élèves considèrent comme important et intéressant pour l'apprendre.

Une analyse complémentaire peut être faite en comparant la motivation des élèves dans les différentes catégories de débriefings. Une telle analyse peut être en lumière d'apporter des informations concernant le style le plus motivant.

Il est également intéressant de faire réaliser des prises de données d'élèves sur les évaluations des connaissances apprises lors des différents types de débriefings. Une telle analyse pourra aider à comprendre quel type de débriefing produit quel apprentissage.

L'influence des représentations sur les élèves : leur expression et leur point de vue pourrait être étudié en filmant des binômes d'élèves travaillant en autonomie. Une comparaison entre deux binômes d'élèves, l'un travaillant sur une activité impliquant des représentations et un autre sur la même activité mais sans les représentations. Une telle analyse pourrait aider à comprendre les obstacles des élèves devant les représentations.

La nature de l'utilisation du texte de modèle par les élèves ainsi que par les professeurs peut être étudié. Une telle analyse peut aider à comprendre la place du texte du modèle dans les activités expérimentales ainsi que dans les séances de débriefings.

Nos résultats évoquent des informations intéressantes utilisables dans la formation des enseignants. Une approche de notre méthode de travail a été récemment présentée dans une formation en France intitulé « *Former à l'enseignement de la physique-chimie en lycée, mais aussi au collège, en visant à améliorer l'implication des élèves* ». D'autres formations vont être développées au Liban dans le cadre de la collaboration France-Liban du projet FSP « *Fonds de Solidarité Prioritaire dans la perspective du renforcement et du renouvellement des cadres francophones de l'Université Libanaise* » surtout sur les pratiques de l'enseignement expérimental en chimie.

Références bibliographiques

Introduction

Monographies

Mortimer E.-F., & Scott P.-H. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. Maidenhead, Philadelphia: Open University Press.

Vygotski L. (1934/1997). *Pensée et langage*. Paris : La Dispute, chapitres 5 et 6.

Articles de périodiques

Le Maréchal J.-F., Jean-Marie O., Vincent D., Driver C. & Martineu M.-O. (2002). Une activité phare du nouveau programme de première S : Initiation à la conductimétrie *Bulletin de l'Union des Physiques et de chimie*, vol.847, p. 1441-1455.

Le Maréchal J.-F., Perrey S., Roux M. & Jean-Marie O. (2004). Tableau d'avancement : avantages et difficultés au long de la scolarité. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol.860, p. 93-100.

Minstrell J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In Duit Goldberg, F., Niedderer H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*, Kiel: IPN. p. 110-128.

Actes de colloques

Gandillet E. & Le Maréchal J.-F. (2003). Conception et chimie des solutions ioniques, Rencontre scientifique de l'*Ardist*, Toulouse, octobre.

Pekdag, B. & Le Maréchal, J.-F. (2003). *Hyperfilm : un outil de recherche en didactique de la chimie*. Environnements Informatique pour l'Apprentissage Humain. Strasbourg, Avril 2003

Roux, M. & Le Maréchal J.-F. (2003). Introducing dynamic equilibrium before static equilibrium by means of computer modelling, 4th *ESERA conference*. Noordwijkerhout (Hollande), August.

Chapitre 1

Monographies

Astolfi, J.-P. & Develay, M. (1998). *La didactique des sciences. Que sais-je ?* 5^e Edition. Paris, PUF.

Bouchard R. (2005). Les interactions pédagogiques comme polylogues, *Lidil* 31.

Brousseau G. (1998). *La théorie des situations didactiques*, Grenoble : La pensée Sauvage éditions.

Bunge M. (1975). *Philosophie de la physique*. Edition du Seuil. Traduction de Bunge, M (1973). *Philosophy of physics*. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht. Holland

- Fillietaz L. (2002). *La parole en actions*, Quebec : Ed Nota Bene.
- Goffman E. (1973). *La Mise en scène de la vie Quotidienne*, 2 volumes., Paris: Minuit.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: Presses universitaires de France.
- Kerbrat-Orecchioni C. (2001). *Les actes de langage*. Paris : Nathan Université. (200 pages)
- Kerbrat-Orecchioni C. (1996). *La conversation*. Paris : Seuil (Coll. Mémo).
- Lemke J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex.
- Le Maréchal J.-F., Clavel-Monin C., Colonna A.-M., Garcia G., Hild N., Le Parc G. et Miguet A.-M. (2004) *Physique Chimie en Seconde* (livre de l'élève). Collection MICROMEGA, Ed. Hatier.
- Levinson S.-C. (1983). *Pragmatics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maingueneau, D. (1989) *Novas Tendencias Em: Analise Do Discurso*. Edité par Pontes.
- McCloskey M. (1983). *L'intuition en physique*. Pour la science, 68, 68-76.
- Mehan H. (1979). *Learning lessons*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Mercer N. (1995). *The guided construction of knowledge: Talk amongst teachers and learners*. Philadelphia: Multilingual Matters.
- Mortimer E.-F., & Scott P.-H. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. Maidenhead, Philadelphia: Open University Press.
- Moeschler J. (1985). *Argumentation et Conversation - Eléments pour une analyse pragmatique du discours*. Paris: Hatier-Crédif ; Coll. « Langues et apprentissage des langues ».
- Robardet, G. & Guillaud, J.-C. (1997). *Eléments didactiques des sciences physiques*. PUF. Paris.
- Roulet E. (et al.) (1985). *L'articulation du discours en français contemporain*. Berne : P. Lang
- Roulet E., Fillietaz L., Grobet A. (2001) *Un modèle et un instrument d'analyse de l'organisation du discours*. Berne : Peter Lang
- Roulet E. et al. (1985). *L'articulation du discours en français contemporain*. Berne: P. Lang.
- Sinclair J.-McH. & Coulthard R.-M. (1975) *Towards an Analysis of Discourse. The English used by teachers and pupils*. Oxford University Press
- Traverso V. (1999). *L'analyse des conversations*. Paris : Nathan (Coll. 128).
- Wallisser B. (1977). *Systèmes et modèles - Introduction critique à l'analyse des systèmes*. Seuil, Paris, 248 p.
- White R.-T., & Gunstone R.-F. (1992). *Probing Understanding*. London : Falmer Press.

Contributions à des monographies

- Bachelard S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier (Eds.), *Elaboration et justification des modèles*. Application en biologie. (Vol. 1, p. 3-19). Paris: Maloine S.A.
- Beaufils D., Durey A. & Journaux R. (1987) L'ordinateur en sciences physiques, quelles simulations ? In Giordan A. & Martinand J.-L. (Eds). *IXèmes journées sur l'Éducation scientifique*, (P.321-327), Paris, Université Paris 7.

- Ben-Zvi R., Silberstein J. & Mamlok R. (1990). Macro-micro relationships: A key to the world of chemistry. In P. L. Lijnse, P. Licht, W. De Vos & A. J. Waarlo (Eds), *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles* (p.183-197). University of Utrecht, Utrecht Centre for Science and Mathematics Education.
- Bouchard R. (1998). L'interaction en classe comme polylogue praxéologique. In Grossmann F., Ed. *Pratiques langagières et didactiques de l'écrit*. Grenoble 3 : Ivel-Lidilem, p.193-210
- Cazden C. Beck S.(2001). Classroom discourse. chapter 5 *in the handbook of discourse processes* De Arthur C. Graesser, Morton Ann Gernsbacher, Susan R. Goldman. Publié par Lawrence Erlbaum Associates, 2003
- Justi R., Gilbert J. (1996) The role of analogy models in the understanding of the nature of models in chemistry *In* Aubusson P., Harrison A.-G.and Ritchie S.-M.(Eds) *Metaphor and analogy in science education* Science and technology education library p.119-130.
- Kelly G.-J. (2007). Discourse in science classrooms. In Abell S.-K. Lederman N.-G., *Handbook of Research on Science Education*, p.443-469.
- Le Maréchal, J.-F. (1999). Modelling student's cognitive activity during the resolution of problems based on experimental facts in chemical education, in J. Leach and A.C. Paulsen (Eds). *Practical work in science education*.
- Minstrell J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In Duit Goldberg, F. , Niedderer H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*, Kiel: IPN. p. 110-128.
- Mortimer E. & Scott P. (2000). Analysing discourse in the science classroom. In Millar R., Leach J. & Osborne J. (Eds.), *Improving science education: The contribution of research*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Niedderer H., Schecker H. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN.p. 74-98).
- Sensevy G. (2001) Théorie de l'action et action du professeur. In Baudouin J.M. et Friedrich J. (Eds), *Théories de l'action et éducation*. Bruxelles : De Boeck Université
- Tiberghien A., Malkoun L., Buty C., Souassy N., & Mortimer E. (2007a). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : Eléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves*. Rennes: PUR, p.93-122.

Articles de périodiques

- Aufschnaiter C. v., Aufschnaiter, S. v. (2003). Theoretical framework and empirical evidence of students' cognitive processes in three dimensions of content, complexity, and time. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.40 n°7, p. 616-648.
- Bouchard R. (1999) Le dialogue pédagogique : unités pragmatiques et procédés énonciatifs. In Barberis J.-M., *Le français parlé variétés et discours*. Montpellier III : Université P. Valéry, p. 69-8

- Bouchard R. (2005) Le “cours”, un événement oralographique structuré : Etude des interactions pédagogiques en classe de langue et au delà... , *Le Français dans le Monde : recherche et applications*.
- Buty C., Tiberghien A. & Le Maréchal J.-F. (2004). Learning Hypotheses and an Associated Tool to Design and to Analyse Teaching–Learning Sequences. *International Journal of Science Education*, vol.26, n°5, p.579–604.
- Chang H.-P., & Lederman N.-G. (1994). The Effect of Levels of Cooperation with Physical Science Laboratory Groups on Physical Science Achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.32, p.167–181.
- Chevallard Y (1997). Familiale et problématique, la figure du professeur. *Recherches en didactique des mathématiques*, Vol 17, n°3 p. 17-54. Grenoble : La Pensée Sauvage Editions.
- Chevallard Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol.19 n°2. Grenoble : La Pensée Sauvage Editions.
- Chi M.T.H., Slotta J.-D. & de Leeuw N. (1994) From things to processes : a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, Vol. 4, p.27-43.
- Chin (2006). Classroom Interaction in Science: Teacher questioning and feedback to students' answer; *International Journal of Science Education*, vol.28 n°11 p.1315-1346.
- Francœur A., Cormier, Monique C. (1997) : Internet pour langagiers : formation et nouvelles technologies de l'information, *Circuit*, n°57, Montréal, OTTIAQ, p. 22
- Fischbein E. and Nachlieli T. (1998). Concepts and figures in geometrical reasoning. *International Journal of Science Education*, vol.20 n°10.
- Galili I., Lavrik V. (1998). Flux concept in learning about light: A critique of the present situation. *Science Education*, vol.82, n°5, p.591-613.
- Galili I., Hazan A. (2000). Learner's knowledge in optics : interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, vol. 22 n° 1, p. 57-88.
- Gilbert J. K., Boulter C., & Rutherford M. (1998 a). Models in explanations, part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, vol.20 n°1, p.83-97.
- Gilbert J. K., Boulter C., & Rutherford M. (1998 b). Models in explanations, part 2: Whose voice? Whose ears? *International Journal of Science Education*, vol.20 n°2, p.187-203.
- Hodson D. (1993). Re-Thinking Old Ways: Towards a more Critical Approach to Practical Work in School Science. *Studies in Science Education*, vol.22, p.85–142.
- Hofstein A., & Lunetta V.-N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, vol.52, n°2, p.201–217.
- Johnstone A.-H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, vol.70, n°9, p.701-705.
- Johnstone A.-H. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, vol.1, n°1, p.9-15.
- Larcher C., Chomat A. & Méheut M. (1990). À la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états. *Revue Française de Pédagogie*, Vol. 93, p. 55-61.

- Mehan H. (1982). Le constructivisme social en psychologie et en sociologie. *Sociologies et Sociétés*, vol.XIV, p.77-95.
- Méheut M. (1996). Enseignement d'un modèle particulaire cinétique de gaz au collège. *Didaskalia*, vol.8, p.7-32.
- Méheut M. (1997). Designing a learning sequence about a pre-quantitative kinetic model of gases : the parts played by questions and by a computer-simulation. *International journal of science education*, vol.19, n°6, p.647-660.
- Méheut M., & Chomat A. (1990). Les limites de l'atomisme enfantin : l'expérimentation d'une démarche d'élaboration d'un modèle particulaire par des élèves de collège. *European Journal of Psychology of Education*, vol.5, n°4, p.417-437.
- Mortimer E. F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: An example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, vol.20 n°1, p.67-82.
- Pekdag B. & Le Maréchal J.-F. (2001). Apprentissage comparé de la notion de réaction chimique en TP ou à l'aide d'une vidéo : rôle des observations faites par les élèves. *Skhôle, Cahier de la Recherche et du Développement*, numéro hors série, IUFM académie d'Aix-Marseille, p.129-141.
- Robert A. (1999) Recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe, *Didaskalia* n°15 p. 123-157.
- Rouse W.-B., & Morris N.-M. (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, vol.100, n°3, p.349-363.
- Sensevy G., Mercier A., Schubauer-Leoni M.L. (2000) Vers un modèle de l'action didactique du professeur. A propos de la course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 20 n°3, p. 263-304. Grenoble : La Pensée Sauvage Editions.
- Tiberghien A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, vol.4, n°1, p.71-87.
- Tiberghien A., & Vince J. (2005). Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du Français Contemporain*, ENS Editions, 10(numéro coordonné par V. Pugibet et N. Gettliffe-Grant.), p.153-176.
- Tiberghien A., & Malkoun L. (2007b). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir. *Education et Didactique*, vol.1, p.29-54.
- Tiberghien A. & Megalakaki O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, vol.4 n°10, p.369-383.
- Tsaparlis G. (1997). Atomic and molecular structure in chemical education: A critical analysis from various perspectives of science education. *Journal of Chemical Education*, vol.74, n°8, p.922-925.
- Wilkenson J.-W. & Ward M. (1997). The Purpose and Perceived Effectiveness of Laboratory Work in Secondary Schools. *Australian Science Teachers' Journal*, p.43-55.
- Williams S.-M. & Hmelo C.-E. (1998). Guest Editors' Introduction. *The Journal of the Learning Sciences*, vol.7, p.265-270.

Zee (VAN) E. H., Iwasyk M., Kurose A., Simpson D., & Wild J. (2001). Student and Teacher Questioning during Conversations about Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), 159-190.

Mémoires et thèses

Küçüközer A. (2005). *L'étude de l'évolution de la compréhension conceptuelle des élèves avec un enseignement. Cas de la mécanique en 1ère S*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2 (soutenance le 24 octobre 2005).

El Bilani R. (2007). *Nature des connaissances mises en jeu par les élèves et les enseignants lors de l'utilisation des TICE en chimie – cas de la réaction chimique dans l'enseignement secondaire*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2 (soutenance le 13 juillet 2007).

Malkoun L. (2007). *De la caractérisation des pratiques de classes de physique à leur relation aux performances des élèves: étude de cas en France et au Liban*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2. (soutenance le 11 octobre 2007)

Seck, M. (2007). *Comparaison des pratiques de classes dans le cas de l'énergie en première scientifique (grade 11). Analyse à l'aide du logiciel Transana*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2 (soutenance le 04 décembre 2008)

Peckdag B. (2005). *Influence des relations entre le texte et l'image d'un film de chimie sur l'activité cognitive d'un apprenant*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2 (soutenance le 27 juin 2005)

Actes de colloques

Bouchard R. (1981) L'étude des échanges verbaux en classe de mathématiques. *Séminaire de didactique et pédagogie des mathématiques*. Grenoble : IMAG N° 33, 1981-1982

Brousseau G. (1995). L'enseignant dans les théories didactiques. In Perrin-Glorian M.J. & Noirfalise R. (Eds) *Actes de la VIII^e école d'été de didactique des mathématiques*. Clermont-Ferrand, IREM de Clermont-Ferrand, p.3-46

Chevallard Y. (1995). La fonction professorale : esquisse d'un modèle didactique. *Actes de la VIII^e Ecole d'été de didactique des mathématiques*. Clermont-Ferrand : IREM de Clermont-Ferrand. p. 83-122.

Fischer, H., Duit, R., & Labudde, P. (2005). Video-studies on the Practice of Lower Secondary Physics Instruction in Germany and Switzerland – Design, Theoretical Frameworks, and a Summary of Major Findings. In R. Pintò & D. Couso (Eds.), *Proceedings of the fifth international ESERA conference on contributions of research to enhancing students' interest in learning science*, Barcelona, Spain. p. 830-834.

Hodson D. (2001). Research on Practical Work in School and Universities: In Pursuit of Better Questions and better Methods. *Proceedings of the 6th European Conference on Research in Chemical Education*, University of Aveiro, Aviero, Portugal (ECRICE).

Martinand J.L. (1992), conférence Compiègne

Méheut, M., Chomat, A. & Larcher, C. (1994). Construction d'un modèle cinétique de gaz par des élèves de collège : jeux de questionnement et de simulation. Paper presented at the *Actes du quatrième séminaire national de la recherche en didactique des sciences physiques*, IUFM de Picardie Amiens.

Le Maréchal J.-F. & Mercier A. (2006). L'intervention et le devenir des connaissances antérieures des élèves dans la dynamique des apprentissages scolaires. Rapport final pour l'ACI « École et sciences cognitives », n° AF14.

Mork M.(2005). Teacher's role in classroom debates. Focusing on potential difficulties and teacher interventions. Fifth ESERA (*European Science Education Research Association*) Conference, Noordwijkerhout. Proceedings of IVth ESERA Conference. Utrecht, p.1315- 1318.

Niedderer H. (2001). Physics Learning as Cognitive Development. Paper presented at *the Bridging Research Methodology and Research Aims*. Student and Faculty Contributions from the 5th *ESERA Summerschool*, Gilleleje, Danmark.

Pekdag, B. & Le Maréchal, J.-F. (2003). *Hyperfilm : un outil de recherche en didactique de la chimie*. Environnements Informatique pour l'Apprentissage Humain. Strasbourg, Avril 2003

Pekdag, G. & Le Maréchal, J.-F. (2005). *Factors Influencing the Students' Choices of Scientific Movies*. 5th E.S.E.R.A meeting, Barcelona

Rolet et Bouchard (2003) Pour une méthodologie d'analyse didactico-interactionnelle des pratiques d'enseignement/apprentissage : A propos d'une séance de mathématiques à l'école primaire. Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement, CDRom, Iufm d'Aquitaine et Université V. Ségalen Bordeaux 3

Scott P. & Mortimer E.-F. (2003). Meaning making in high school science classrooms: a tool for analysing and planning teaching interactions. In: IVth ESERA (*European Science Education Research Association*) Conference, Noordwijkerhout. Proceedings of IVth ESERA Conference. Utrecht, p. 1-4.

Scott P. & Mortimer E. (2002). Discursive activity on the social plane of high school science classrooms: a tool for analysing and planning teaching interactions. Paper presented at the *AERA Annual Meeting*, New Orleans, USA.

Références aux documents électroniques

Barry A.-O. (2002) *Les bases théoriques en analyse du discours*. Texte de méthodologie, 35 p. Disponible sur internet : <http://www.er.uqam.ca/nobel/icim//IMG/pdf/metho-2002-01-barry.pdf> (consulté le 23 septembre 2008).

Davous D., Feore M.-C., Fort L., Gleize R., Leveque T., Mauhaourat M.-B., Zobirit T. et Jullien L. (2003). *La chimie au lycée, le nouveau programme de la classe de première scientifique*. Document proposé par le groupe d'experts de Physique Chimie, Direction générale de l'Enseignement

scolaire, Ministère de l'Éducation nationale. Disponible sur internet : <http://eduscol.education.fr/D0030/e0d02x.htm> (consulté le 23 septembre 2008)

Ourisson G. (2002). *Désaffection des étudiants pour les études scientifiques*, rapports du Ministère de l'Éducation nationale, 31 p. Disponible sur internet : http://www.cgenial.org/medias/file/Ourisson_2002.pdf (consulté le 23 septembre 2008).

Pelletier J. (1999). *Bulletin officiel de l'éducation nationale BO numéro hors série 6 du 12 août 1999 volume 2 programmes des sciences*. Paris : Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie et par délégation, le directeur de l'enseignement scolaire, 48 p. Disponible sur internet : <http://www.education.gouv.fr/bo/1999/hs6/default.htm> (consulté le 23 septembre 2008).

Santacroce M. (2000). Analyse du discours et analyse conversationnelle. Document consulté sur internet : http://www.revue-texto.net/1996-2007/marges/marges/Documents%20Site%206/doc0009_santacroce_m/anaconv.pdf visité le 24 septembre 2008.

Sesames (2006). <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames/>, visité le 15 janvier 2007.

TLFI *Trésor de la Langue Française Informatisé* consulté sur internet : <http://www.tlfi.fr> visité le 24 septembre 2008.

Chapitre 2

Contributions à des monographies

Le Maréchal J.-F, Khanfour-Armalé R. et Elbilani R. (sous presse) Réaction chimique : modélisation, simulation et bilan de matière, in *Production et utilisation de séquences d'enseignement scientifique pour les jeunes de 11 à 18 ans*, C. BUTY & E. Mortimer Eds. (Commande de l'UNESCO pour l'Amérique latine).

Articles de périodiques

Khanfour-Armalé R. & Le Maréchal J.-F (2008). Construire une catégorie grâce à une analogie : Cas du concept d'élément chimique. *Didaskalia* n°32

Le Maréchal J.-F. Khanfour R. Aubert I., Jean-Marie O., Bastard H., Dubief M.-C., Maret S., Nancy D. (2007). Lien entre les différents aspects d'un concept, cas de l'enseignement de l'élément chimique et de la classification périodique. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et Chimie*, Vol. 101, n°. 803, p. 443-454.

Buty C., Tiberghien A. & Le Maréchal J.-F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, vol.26, p.579 – 604.

Le Maréchal J.-F. & Bécu-Robinault K. (2006). La simulation en chimie au sein du projet Microméga. *Aster*, 43.

Mémoires et thèses

El Bilani R. (2007). *Nature des connaissances mises en jeu par les élèves et les enseignants lors de l'utilisation des TICE en chimie – cas de la réaction chimique dans l'enseignement secondaire*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2 (soutenance le 13 juillet 2007).

Chapitre 3

Monographies

- Coup J. (2004). *Physique – Chimie. Classe de seconde* - Livre du professeur. Paris, Bordas.
- Dolle J.-M. (1991). *Pour comprendre Jean Piaget*. Toulouse, Privat.
- Driver R., Guesne E. & Tiberghien A. (1985). *Children's Ideas in Science* (Milton Keynes: Open University Press).
- Durandau J.-P. (1993). *Physique Chimie classe de seconde*. Paris, Hachette.
- Grossetete C. (1996). *Physique - chimie Classe de Seconde*. Paris, Belin.
- Gentric R. (1993). *Physique – chimie. Classe de Seconde*. Paris - Hatier.
- Johsua S., Dupin J.-J. (2003). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, Presses universitaires de France.
- Krnel D., Watson R. & Glazar S.A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter'. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 3, p. 257-289.
- Lakoff G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Leardonnel J.-P. (1993). *Physique – chimie. Classe de Seconde*. Paris, Bordas.
- Martinand J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne, Peter Lang.
- Piaget J., & Inhelder (1941). *Le développement des quantités chez l'enfant*. Neuchâtel, Suisse : Delachaux.
- Richaudeau F. (1999). *Des neurones des mots et des pixels*. Reillanne, Atelier Perrousseaux.
- Sander E. (1998). *L'analogie, du naïf au créatif. Analogie et Catégorisation*. Paris, L'Harmattan.
- Tijus C. (2001). *Introduction à la psychologie cognitive*, Paris, Nathan.

Contributions à des monographies

Hofstadter D.-R. (2001). Analogy as the Core of Cognition. In *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science*, Dedre Gentner (Ed), Keith J. Holyoak, and Boicho N. Kokinov. Cambridge MA: The MIT Press/Bradford Book, p.499-538.
<http://prelectur.stanford.edu/lecturers/hofstadter/analogy.html> (visité 01/08).

Justi R., Gilbert J. (1996). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry In Aubusson P., Harrison A.-G. and Ritchie S.-M. (Eds) *Metaphor and analogy in science education* Science and technology education library p.119-130.

Pekdag B. & Le Maréchal J.-F (2007). Memorisation of Information from Scientific Movies. In Roser Pintó and Digna Couso (Eds.), *Contributions from Science Education Research* (p. 199-210). Springer: Dordrecht, The Netherlands.

Articles de périodiques

Ahtee M., Varjola I. (1998). Students' understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 3, p. 305-316.

Andersson, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, vol. 79, p. 549-567.

Andersson B. (1990). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions, *Studies in Science Education*, vol. 18, p. 53-85.

Bensaude-Vincent B. (1984). Regards sur l'histoire de l'élément chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 666, p. 1273-1284.

Brito A., Rodriguez M.-A. & Niaz M. (2005). A reconstruction of development of the periodic table based on history and philosophy of science and its implications for general chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, n° 1, p. 84-111.

Boo, H.-K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.35, n°5, p.569-581.

Boo, H.-K. and Watson, R. (2001). Progression in high school students' (aged 16-18) conceptualizations about chemical reactions in solution. *Science Education*, vol.85 n°5, p.568-585.

Buty C. (2004). Richesses et limites d'un modèle matérialisé informatisé en optique géométrique. *Didaskalia*, vol.23, pp.39-64.

Chi, M. T. H., Slotta, J. D. & Deleuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, vol.4, p.27-43.

Chiu, M.-H., Chou, C.-C. & Liu C.-J. (2002). Dynamic processes of conceptual change: analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. *Journal of research in Science Teaching*, vol.39, p.688-712.

De Vos, W., & Verdonik, A.-H. (1987). A new road to reactions, Pt. 4. The substance and its molecules. *Journal of Chemical Education*, vol. 64, p. 692-694.

Duit, R. (1991) On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, vol. 75, p. 649-672.

Gilbert, S.-W. (1989). An evaluation of the use of analogy, simile, and metaphor in science texts. *Journal of research in science Teaching*, vol. 26, p. 315-327.

Glynn S.-M., Takahashi T. (1998). Learning from Analogy-Enhanced Science Text. *Journal of research in science teaching*, vol. 35, n° 10, p. 1129-1149.

- Hatzinikita V., Koulaïdis V. & Hatzinikitas A. (2005). Modeling Pupils' Understanding and Explanations Concerning Changes in Matter. *Research in Science Education*, vol. 35, p. 471–495.
- Hesse J.-J.III, Anderon C.-W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, n° 3, p. 277-299.
- Johsua S., Johsua M.-A., (1988). Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifique (deuxième partie). *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 9, n° 1, p. 5-30.
- Laugier A. & Dumon A. (2000). Travaux pratiques en chimie et représentation de la réaction chimique dans les registres macroscopique et microscopique : une étude en classe de seconde (15 – 16 ans). *Chemistry Education Research and practice in Europe*, vol. 1, n° 1, p. 61-75.
- Laugier A. & Dumon A. (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques du concept d'élément chimique : quelles convergences. *Didaskalia*, vol. 22, p. 69-97.
- Le Maréchal J.-F., Khanfour R., Aubert I., Bastard H., Dubief M.-C., Olivier J.-M., Maret S. & Nancy D. (2007). Lien entre les différents aspects d'un concept. Cas de l'enseignement de l'élément chimique et de la classification périodique. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique-Chimie*, vol. 893, p. 443-454.
- Martinand J.-L. & Viovy R. (1979). La notion d'élément chimique en classe de cinquième : difficultés, ressources et propositions. *Bulletin de l'Union des Physiciens, Paris*, vol. 613, p. 878-884.
- Méheut M. (1989). Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : premières étapes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 716, p.997-1001.
- Méheut M. Saltiel E. & Tiberghien A. (1985). Pupils (11-12 year olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, vol. 7, p. 83-93.
- Sallaberry J. (2000). Coordination des « représentations image » et des représentations rationnelles dans la construction du concept d'élément chimique. *Didaskalia*, vol. 17, p.101-120.
- Solomonidou C. & Stavridou H. (2000). From inert object to chemical substance: students' initial conception and conceptual development during an introductory experimental chemistry sequence. *Science Education*, vol. 84, p. 382-400.
- Schwob M. & Blondel F.-M. (1996). Questions posées par la conception et la réalisation d'un environnement d'aide à la résolution de problèmes en chimie. *Didaskalia*, vol. 8, p.115-141.
- Schmidt H.J., Baumgartner T. & Eybe H. (2003). Changing ideas about the periodic Table of elements and students' alternative concepts of isotopes and allotropes. *International Journal of Science Education*, vol. 40, p. 257-277.
- Speece D-L., Mckinney J-D., and Appelebaum M.-I. (1986). The Longitudinal Development of Conservation Skills in Learning Disabled Children. *Journal of learning disabilities*, vol. 19, n° 5, p. 302-307.
- Taber K.-S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, vol.2, p.123-158.
- Taber K.-S. (2003). Mediating Mental Models of Metals: Acknowledging the Priority of the Learner's Prior Learning. *Science Education*, vol. 87, p. 732-758.
- Viovy R. (1984). La notion d'élément chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 663, p. 901-910.

Yarroch W.L. (1985). Students' understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 5, p. 449-459.

Actes de colloques

Norman E. (2001). *History of the Origin of the Chemical Elements and Their Discoverers*. Prepared for the 41st IUPAC General Assembly in Brisbane, Australia June 29th - July 8th, 2001

Références aux documents électroniques

CNCRE. (1998) Rapport bilan du Comité national de coordination de la recherche en éducation disponible sur internet : http://www.inrp.fr/Cncre/Pdf/Rapport_bilan.pdf (consulté le 01/08/2008).

IUPAC (1998). *Compendium of Chemical Terminology - the Gold Book*.. disponible sur internet : <http://goldbook.iupac.org/C01022.html> (visité le 01/08/2008).

Mnought A.-D. & Wilkinson A. (1998). *IUPAC Compendium of Chemical Terminology*. Disponible sur internet : <http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/medchem/> (visité le 30/08/2007)

Chapitre 4

Monographies

Driver R., Guesne E. & Tiberghien A. (1985). *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes, Open University Press.

Contributions à des monographies

Gabel D. (1998). The complexity of chemistry and implications for teaching. In Fraser B.J. & Tobin K.J. (Eds), *International handbook of science education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic. P.223-248.

Le Maréchal J.-F. (1999). Modelling student's cognitive activity during the resolution of problems based on experimental facts in chemical education, in J. Leach and A.C. Paulsen (Eds). *Practical work in science education*.

Wertsch. J.-V. (1985). La médiation sémiotique de la vie mentale : L.S Vygotsky et M.M.Bakhtine. In B. Schneuwly & J.P. Bronckart (Eds.). *Vygotsky aujourd'hui*, p. 139-168. Neuchâtel & Paris : Delachaux et Niestlé.

Articles de périodiques

Anderson B. (1990). Pupil's conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, vol.18, p.53-85.

Andersson B. (1986-a). The experiential gestalt of causation: A common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, vol.8, p.155-171.

- Artigue M. (1992). Didactic engineering. *Recherche en didactique des mathématiques*, vol. 13, n° 3, pp. 41–66.
- Bensaude-Vincent B. (1984). Regards sur l'histoire de l'élément chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 666, p. 1273-1284.
- Buty C., Tiberghien A. et Le Maréchal J.-F. (2004). Learning hypotheses and associated tools to design and to analyse teaching-learning sequences, *International Journal of Science Education*, vol.26 n°5, p. 579-604.
- Cross D., Fayol M., Maurin M., Chastrette, M., Amoureux, R. & Leber, J. (1994). Atome, acides-bases, équilibre. Quelles idées s'en font les étudiants en arrivant à l'université ? *Revue française de pédagogie*, vol.68, p.49-60.
- Driver R., Newton P., & Osborne J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, vol.84, p.287–312.
- Gussarsky E. & Gorodetsky M. (1990). On the concept “chemical equilibrium”: the associative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.27, p.197-204.
- Hesse J.-J. & Anderson C.-W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.29, p.277-299.
- Johnstone A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. (Forum). *Journal of Chemical Education*, p. 70-701.
- Laugier A. & Dumon A. (2000). Travaux pratiques en chimie et représentation de la réaction chimique par l'équation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique : une étude en classe de Seconde (15-16 ans). *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, vol.1, n°1, p.61-75.
- Martinand J.-L. & Viovy R. (1979). La notion d'élément chimique en classe de cinquième : difficultés, ressources et propositions. *Bulletin de l'Union des Physiciens, Paris*, vol. 613, p. 878-884.
- Nakhleh M.-B. (1992). Why some Students Don't Learn Chemistry. Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, vol.69, p.191-196.
- Pekdag B. & Le Maréchal J.-F. (2001). Apprentissage comparé de la notion de réaction chimique en TP ou à l'aide d'une vidéo : rôle des observations faites par les élèves. Skhôle, *Cahier de la Recherche et du Développement*, numéro hors série, IUFM académie d'Aix-Marseille, p.129-141.
- Rebaud D. (1994). Enseignement et réaction chimique. La réaction chimique, *aster*, vol.18, p.3-9.
- Solomon, J. (1990). The discussion of social issues in the classroom. *Studies in Science Education*, vol.18, p.105–126.
- Stavridou H. & Solomonidou C. (2000). Représentations et conceptions des élèves grecs par rapport au concept d'équilibre chimique. *Didascalía*, vol.16, p.107-134
- Stavridou H. & Solomonidou C. (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education, *International Journal of Science Education*, 20, 205-221.
- Taber K.-S. (1998). An alternative conceptual framework from chemistry education, *International Journal of Science Education*, 20, 597-608.

Taber K.-S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, vol.2, p.123-158.

Thorley N.-R. & Treagust D.-F. (1986). Conflict within dyadic interactions as a stimulant for conceptual change in physics. *European Journal of Science Education*, vol.9, p.203–216.

Viovy R. (1984). La notion d'élément chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol. 663, p. 901-910.

Mémoires et thèses

El Bilani R. (2007). *Nature des connaissances mises en jeu par les élèves et les enseignants lors de l'utilisation des TICE en chimie – cas de la réaction chimique dans l'enseignement secondaire*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2 (soutenance le 13 juillet 2007).

Autain-Kermen I. (2007). *Prévoir et expliquer l'évolution des systèmes chimiques. Observation de la mise en place d'un nouveau programme de chimie en terminale S : réactions des enseignants et des élèves face à l'introduction de l'évolution des systèmes chimiques*. Thèse de doctorat en didactique des disciplines. Université Paris Diderot Paris 7 (soutenance le 06 juin 2007).

Weil-Barais A. (1999). *Conception collective, coordination et savoir. Les rationalisations de la conception automobile*. Tome 1 : Gestion de projet, groupes transversaux et coordination en conception. Tome 2 : Dynamique des savoirs et organisation de la conception, Thèse de l'Ecole Nationale des Mines de Paris, spécialité Ingénierie et Gestion, Paris.

Actes de colloques

Pekdag B. & Le Maréchal J.-F. (2005b). *Factors Influencing the Students' Choices of Scientific Movies*. In R. Pinto & D. Couso (Eds), *Proceedings of the Fifth International ESERA Conference on Contributions of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science* (Barcelona, 28 August – 1 September 2005), p.675-678.

Chapitre 5

Monographies

Kerbrat-Orecchioni C. (1996). *La conversation*. Paris : Seuil (Coll. Mémo).

Contributions à des monographies

Mortimer E. & Scott P. (2000). Analysing discourse in the science classroom. In Millar R., Leach J. & Osborne J. (Eds.). *Improving science education: The contribution of research*. Buckingham, UK: Open University Press.

Articles de périodiques

Carlsen W.S. (1997). Never ask a question if you don't know the answer: The tension in teaching between modelling scientific argument and maintaining law and order. *Journal of Classroom Interaction*, vol.32, n°2, p.14-23.

Carlsen W.S. (1992). Closing down the conversation: discouraging student talk on unfamiliar science content. *Journal of Classroom Interaction*, vol.27, n°2, p.15-21.

Mehan H. (1982). Le constructivisme social en psychologie et en sociologie. *Sociologies et Sociétés*, vol.XIV, p.77-95.

Références aux documents électroniques

Sesames (2006). <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames/>, visité le 15 janvier 2007.

Chapitre 6

Monographies

Bouchard R. (2005). *Les interactions pédagogiques comme polylogues*, Lidil 31.

Duval R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Ginevra: Peter Lang (tr. espagnole *Semiosis y pensamiento humano*. Cali : Universidad del Valle 1999)

Contributions à des monographies

KRAJCIK J. (1991). Developing students' understanding of chemical concepts. In *The psychology of learning science* S. Glynn, R. Yeany, & B. Britton (Eds.), p. 117–148. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Minstrell J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In Duit Goldberg, F., Niedderer H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*, Kiel: IPN. p. 110-128.

Articles de périodiques

Howard I.-K. (2001). S is for Entropy. U is for Energy. What Was Clausius Thinking? *Journal of Chemical Education*, vol. 78, p.505-509.

Peraya D. (1995). Vers une théorie des paratextes : images mentales et images matérielles. *Recherches en communication*, n° 4. Consultable sur le site : <http://www.comu.ucl.ac.be/reco/GReMS/jpweb/peraya/paratexte.pdf> visité le 03 octobre 2008.

Duval R. (1993) Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée, *Annales de didactique et de sciences cognitives*, IREM de Strasbourg, n°5, p. 37-65.

Duval R. (2006) Quelle sémiotique pour l'analyse de l'activité et des productions mathématiques. *Relime*, Numéro spécial , p.45-81.

- Ealy J.-B. (2004). Students' Understanding Is Enhanced Through Molecular Modeling. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 13, n° 4, p. 461-471.
- Johnstone A.H (1993). The Development of Chemistry Teaching A Changing Response to Changing Demand. *Journal of Chemical Education*, vol. 70, p. 701-705.
- Gabel D.L. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, vol. 70, p.193-195.
- Khanfour-Armalé, R. & Le Maréchal, J.-F (soumis). Représentations moléculaires. *Aster* n°48 [Parution juin 2009].
- Kozma R.-B. & Russell J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena journal. *Journal of research in Science teaching*, vol.34, n°9, p.949-968.
- Le Maréchal J.-F., El Bilani R. (2008). Teaching and Learning Chemical Thermodynamics in School. *International Journal of Thermodynamics*, vol. 11 n° 2, p. 91-99.
- Le Maréchal J.-F. & Naija R. (2008). La mesure dans l'enseignement de la chimie : Cas d'une approche des titrages par pH-métrie et conductimétrie. *Aster*, vol. 46.
- Le Maréchal J.-F., Perrey S., Roux M. & Jean-Marie O. (2004). Tableau d'avancement : avantages et difficultés au long de la scolarité. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*. Vol.98, n° 860, p.93 – 100.
- Turner K.-E. (1990). A Supplemental Course To Improve Performance in Introductory Chemistry. *Journal of Chemical Education*, vol. 67, p. 954-957.

Mémoires et thèses

- El Bilani R. (2007). *Nature des connaissances mises en jeu par les élèves et les enseignants lors de l'utilisation des TICE en chimie – cas de la réaction chimique dans l'enseignement secondaire*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2 (soutenance le 13 juillet 2007).
- Beney M. (1998) *Contribution à l'analyse des phases manipulatoires des travaux pratiques de physique en premier cycle universitaire. Les apprentissages possibles à travers la conduite de l'action*. Thèse de doctorat en didactique de la physique. Université Paris 11.
- Peckdag B. (2005). *Influence des relations entre le texte et l'image d'un film de chimie sur l'activité cognitive d'un apprenant*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2 (soutenance le 27 juin 2005)
- Richoux H. (2000). *Rôles des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée*. Thèse de doctorat en didactique de la physique. Université Paris 7.
- Robinault K. (1997). *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Thèse de doctorat en didactique de la physique. Université Lumière Lyon 2.

Actes de colloques

Beaufils D. (2000). Les logiciels de simulation comme supports de registres de représentation pour les apprentissages en physique, in *L'apprentissage : une approche transdisciplinaire, actes des Journées Internationales d'Orsay sur les Sciences Cognitives (JIOSC)*, p.101-104. consultable sur le site : http://formation.etud.u-psud.fr/didasco/RapSimIufm/Divers/DB_JOSC2000.pdf visité le 03 octobre 2008.

Chapitre 7

Monographies

Abell S.-K. Lederman N.-G. *Handbook of Research on Science Education*. Routledge, Taylor and Francis group.

Bligh D.-A. (2000). *What's the Use of Lectures?* San Francisco: Jossey-Bass.

Gallas K. (1995). *Talking their way into science: Hearing children's questions and theories, responding with curricula*. New York: Teachers College Press.

Contributions à des monographies

Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N., & Mortimer, E. (2007a). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : Eléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves*. 93-122. Rennes: PUR.

Tiberghien, A., & Buty, C. (2007c). Studying science teaching practices in relation to learning. Times scales of teaching phenomena. In R. Pintó & D. Couso (Eds.), *ESERA Selected Contributions book*. 59-75. Berlin: Springer.

Articles de périodiques

Lemke, J.L. (2000). Across the Scales of Time : Artifacts, Activities, and Meanings in Ecosocial Systems. *Mind, culture, and activity*, vol. 7, n°4, p.273-290.

Filliettaz, L. (2001). Les types de discours. *Círculo de lingüística aplicada a la comunicación (clac)* (http://www.ucm.es/info/circulo/index.htm), vol.8, n°1, <http://www.ucm.es/info/circulo/no8/filliettaz.htm>.

Moje E.-B., Collazo T., Carrillo R. & Marx R.-W. (2001). « Maestro, what is 'quality' ? » : language literacy, and discourse in project based science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.38, p.469-498.

Rivard L.-P. & Straw S.-B. (2000). The effect of talk and writing on learning science : An exploratory study. *Science Education*, vol. 84, p.566-593.

Rusell J.-W., Kozma R.-B., Jones T., Wykoff J., Marx N. and Davis J. (1997) Use of Simultaneous-Synchronized Macroscopic, Microscopic, and Symbolic Representations To Enhance the Teaching and Learning of Chemical Concepts. *Journal of Chemical Education*, Vol. 74, n°3. p.330-334.

Actes de colloques

Khanfour-Armalé, R., Cross D., Badreddine Z., Malkoun L., Seck M. (accepté). Méthodologie de mise au point d'un consensus entre chercheurs : le cas du thème. *1er colloque international de l'ARCD*, Université de Genève 15-16 janvier 2009.

Parpette C. (2002). Le cours magistral, un discours orolographique : effet de la prise de notes des étudiants sur la construction du discours de l'enseignant. in R. Gauthier, & A. Meggori (Eds.), *Langages et significations : L'oralité dans l'écrit et réciproquement*. p.261-266 Albi – juillet 2002.

Chapitre 8

Monographies

Barbier J.-M. (2000). *Analyse de la singularité de l'action*. Paris: PUF.

Bourdieu P. (1980). *Le sens pratique*. Paris, Editions de Minuit.

Brousseau G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La pensée sauvage.

Bru M. (1991). Les variations didactiques dans l'organisation des conditions d'apprentissage. Toulouse: Editions universitaires du Sud.

Bru M. & Talbot L. (2001). *Les pratiques enseignantes: une visée, des regards. Les dossiers des sciences de l'éducation*, 5. Toulouse: Presses universitaires du Mirail.

Durand M. (1996). *L'enseignement en milieu scolaire*. Paris: PUF.

Contributions à des monographies

Le Maréchal, J.-F, Khanfour-Armalé, R. et Elbilani, R. (sous presse) Réaction chimique : modélisation, simulation et bilan de matière, in *Production et utilisation de séquences d'enseignement scientifique pour les jeunes de 11 à 18 ans*, C. BUTY & E. Mortimer Eds. (Commande de l'UNESCO pour l'Amérique latine).

Articles de périodiques

Huddle, P.A & Pillay, A.E. (1996). An in depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at South Africa university. *Journal of Research in Science Teaching*, vol.33, p.65-77.

Laugier A. & Dumon A. (2000). Travaux pratiques en chimie et représentation de la réaction chimique par l'équation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique : une étude en classe de Seconde (15-16 ans). *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, vol.1, n°1, p.61-75.

Le Maréchal J.-F. & Bécu-Robinault K. (2006). La simulation en chimie au sein du projet Microméga. *Aster*, 43.

Robert A. (1999). Recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe. *Didaskalia*, vol.15, p.123-157.

Robert, A., & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques: une double approche. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, vol.2, n°4, p.505-528.

Savoy, L.G & Steeples, B. (1994). Concept hierarchies in the balancing of chemical equation. *Science Education Notes*, vol.75, p.97-103.

Sensevy, G., Mercier, A., & Schaubert-Leoni, M. L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. A propos de la course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol.20 n°3, p.263-304.

Mémoires et thèses

El Bilani R. (2007). *Nature des connaissances mises en jeu par les élèves et les enseignants lors de l'utilisation des TICE en chimie – cas de la réaction chimique dans l'enseignement secondaire*. Thèse de doctorat en science de l'éducation sur le site de Lyon 2 (<http://theses.univ-lyon2.fr>). Université Lumière Lyon 2 (soutenance le 13 juillet 2007).

Stavridou H. (1990). *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Etude des conceptions des élèves*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

Actes de colloques

Brousseau G. (2000) Les propriétés didactiques de la géométrie élémentaire : l'étude de l'espace et de la géométrie. Conférence invitée au Séminaire de *Didactique des Mathématiques* du Département des Sciences de l'éducation de l'Université de Crète à Réthymon et publié dans les actes. Consulté sur le site : <http://pagesperso-orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/GeometrieElementaire.pdf> visité le 03 octobre 2008.

Références aux documents électroniques

Brousseau G. (2003) *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques*. Consulté sur le site : http://pagesperso-orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf Consulté le 03 octobre 2008.

